فصل المقال

فى

ظاهرة الزلزال

للأستاذ الدكتور

أحمد فؤاد باشا

قسم الفيزياء / كلية العلوم / جامعة القاهرة

رئيس التحرير

دكتور / على أحمد الخطيب

هدية مجلة الأزهر المجانية - رجب ١٤١٣هـ

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

الحمد لله رب العالمين ، والصلاة والسلام على أشرف المرسلين سيدنا محمد النبى الأمى العربى الصادق الأمين ، وعلى آله وصحبه والتابعين إلى يوم الدين .

أما بعد :

فإن الزلزال ظاهرة كونية ورد ذكرها فى عدد من الآيات القرآنية الكريمة ليدلّ على مايحصل فى النفوس من الرعب والفزع ، وليخبر بما يستقبل العباد من أهوال يوم القيامة وأحوالها . كذلك جاء فى عدد من الكتب التراثية وصف دقيق للهزات الزلزالية التى تعرضت لها البلدان العربية والإسلامية خلال القرون الماضية ، منها على سبيل المثال :

كتاب «صفة جزيرة العرب» للهمدانى .

وكتاب «بدائع الزهور ووقائع الدهور» لابن إياس .

وكتاب «كشف الصلصلة عن وصف الزلزلة» لجلال الدين السيوطى ، وغيرها .

ولا شك أن مثل هذه المؤلفات التراثية تعتبر بمثابة سجلات زلزالية لاغنى عنها ، والاسترشاد بما جاء فيها يعتبر ضرورة منهجية ومعرفية لأى دراسات معاصرة تتعلق بخرائط التوزيع الزلزالى .

وتعتبر ظاهرة الزلزال أقلّ الظواهر الكونية من حيث فهْمنا لها ، وذلك بسبب حدوثها المفاجىء لثوان معدودات . وقد تستمر لبضع دقائق على أكثر تقدير ، ثم يفيق الناجون منها ليجدوا أنفسهم وسط الدمار والخراب .

كذلك فإن مصادر الزلزال فى باطن الأرض بعيدة عن ملاحظاتنا المباشرة ، ولا نستطيع إلَّا الاستدلال على مايحدث فى الباطن من خلال القليل الذى نشاهده على السطح .

ويحاول هذا الكتيب أن يقدم تعريفاً مبسطاً لعلم الزلازل قديماً وحديثاً ، وسوف نعرض - أثناء ذلك - لأهم الآراء والنظريات العلمية المتعلقة بتفسير الحركات الأرضية ، وقياس الموجات الزلزالية ، والإفادة من خصائصها ، ليس فقط فى تحديد مصدر الزلزال وقوته ، ولكن أيضا فى سبْر أعماق الأرض لمعرفة تركيبها الداخلى والكشف عن ثرواتها . وقد حرصنا على توضيح أهم ملامح التاريخ الزلزالى فى العالم لكى نبيِّن أن تركيز الجهود لمواجهة أخطار الزلازل ، خير من الانشغال الزائد عن الحد بتصنيف سطح الكرة الأرضية إلى مناطق داخلة فى حزام الزلازل ، وأخرى بعيدة عنه ، أو فى الطريق إليه .

هذا ، والله من وراء القصد

وآخر دعوانا أن الحمد لله رب العالمين

أ.د. أحمد فؤاد باشا

الفصـــل الأول

الزلزال فى القرآن والسنة

الفصـــل الأول

الزلزال فى القرآن والسنة

الزلزال : لغة يعنى التحريك والاضطراب الشديد ، ومثله الرجّ والرَّجْف[(١)] . وقد ورد ذكر الزلزال فى القرآن الكريم ليدل على ما يحصل للنفوس من الرعب والفزع ، وأخبر الله ـ تعالى ـ عن ذلك الحال حين نزلت الأحزاب حول المدينة والمسلمون محصورون فى غاية الجهد والضيق ، ورسول الله ـ ﷺ ـ بين أظهرهم ، فبين ـ سبحانه ـ أنهم ابتلوا واختبروا وزلزلوا زلزالاً شديداً ، فحينئذ ظهر النفاق وتكلم الذين فى قلوبهم مرض بما فى أنفسهم ؛ قال تعالى : ﴿ هُنَالِكَ ٱبْتُلِيَ ٱلْمُؤْمِنُونَ وَزُلْزِلُوا۟ زِلْزَالًا شَدِيدًا ﴿١١﴾ وَإِذْ يَقُولُ ٱلْمُنَٰفِقُونَ وَٱلَّذِينَ فِى قُلُوبِهِم مَّرَضٌ مَّا وَعَدَنَا ٱللَّهُ وَرَسُولُهُۥٓ إِلَّا غُرُورًا ﴿١٢﴾ ﴾[(٢)] كذلك أخبر الله ـ تعالى ـ عن

---

(١) راجع لسان العرب لابن منظور :
مادة «زلل» ، يقال : زَلْزَلَهُ زَلْزَلَةً وزِلْزالًا .
مادة «رجج» ، يقال : رَجَّهُ يرُجُّه رجًّا : حرّكه وزلزله فارتج ، ورجْرَجَهُ فترجرج .
مادة «رجف» ، يقال : رجف الشىء يَرْجُفُ ورجوفاً ورَجفاناً ورجيفاً .

(٢) سورة الأحزاب : ١١ ، ١٢

مثل ذلك الحال فى قوله : ﴿أَمْ حَسِبْتُمْ أَن تَدْخُلُوا۟ ٱلْجَنَّةَ وَلَمَّا يَأْتِكُم مَّثَلُ ٱلَّذِينَ خَلَوْا۟ مِن قَبْلِكُم ۖ مَّسَّتْهُمُ ٱلْبَأْسَآءُ وَٱلضَّرَّآءُ وَزُلْزِلُوا۟ حَتَّىٰ يَقُولَ ٱلرَّسُولُ وَٱلَّذِينَ ءَامَنُوا۟ مَعَهُۥ مَتَىٰ نَصْرُ ٱللَّهِ ۗ أَلَآ إِنَّ نَصْرَ ٱللَّهِ قَرِيبٌ ﴿٢١٤﴾﴾(٣) . وقد جاء فى الحديث عن خباب بن الأرت قال : قلنا : يا رسول الله ألا تستنصر لنا ، ألا تدعو الله لنا فقال : « إن من كان قبلكم كان أحدهم يوضع الميشار على مفرق رأسه فيخلص إلى قدميه ، لا يصرفه ذلك عن دينه ، ويمشط بأمشاط الحديد ما بين لحمه وعظمه ، لا يصرفه ذلك عن دينه » ، ثم قال : « والله ليتمنّ الله هذا الأمر حتى يسير الراكب من صنعاء إلى حضر موت ، لا يخاف إلا الله والذئب على غنمه ولكنكم قوم تستعجلون »(٤) .

كذلك ورد ذكر الزلزال فى القرآن الكريم ليُخبر الله ـ تعالى ـ بما يستقبل العباد من أهوال يوم القيامة وأحوالها . قال ـ تعالى ـ فى سورة الزلزلة : ﴿إِذَا زُلْزِلَتِ ٱلْأَرْضُ زِلْزَالَهَا ﴿١﴾ وَأَخْرَجَتِ ٱلْأَرْضُ أَثْقَالَهَا ﴿٢﴾ وَقَالَ ٱلْإِنسَٰنُ مَا لَهَا ﴿٣﴾ يَوْمَئِذٍ تُحَدِّثُ أَخْبَارَهَا ﴿٤﴾ بِأَنَّ رَبَّكَ أَوْحَىٰ لَهَا ﴿٥﴾﴾(٥) .

---

(٣) سورة البقرة : ٢١٤

(٤) رواه البخارى . راجع مختصر تفسير ابن كثير ، . ١ ، ص ١٨٨

(٥) سورة الزلزلة : ١ ـ ٥

وقد جاء فى تفسير هذه السورة عن ابن عباس – رضى الله عنهما – أنه قال : ﴿إِذَا زُلْزِلَتِ ٱلْأَرْضُ زِلْزَالَهَا﴾ أى تحركت من أسفلها وألقت مافيها من الموتى ، واستنكر الإنسان أمرها بعد ما كانت قارة ساكنة ، ثابتة وهو مستقر على ظهرها ، أى تقلبت الحال فصارت متحركة مضطربة قد جاء من أمر الله – تعالى – ماقد أعدّه لها من الزلزال الذى لا محيد عنه ، ثم ألقت مافى بطنها من الأموات من الأولين والآخرين ، وحينئذ استنكر الناس أمرها ، وتبدل الأرض غير الأرض والسموات ، وبرزوا لله الواحد القهار ، وقوله تعالى : ﴿يَوْمَئِذٍ تُحَدِّثُ أَخْبَارَهَا﴾ أى تحدث بما عمل العاملون على ظهرها ، عن أبى هريرة – رضى الله عنه – قال : قرأ رسول الله – ﷺ – هذه الآية ﴿يَوْمَئِذٍ تُحَدِّثُ أَخْبَارَهَا﴾ قال : «أتدرون ما أخبارها» ؟ قالوا : الله ورسوله أعلم ، قال : «فإن أخبارها أن تشهد على كل عبد وأمة بما عمل على ظهرها ، أن تقول : عمل كذا وكذا يوم كذا وكذا ، فهذه أخبارها»[٦] .

ومن أوجه الإعجاز البيانى فى آيات سورة الزلزلة أن التعبير بالفعل الماضى «زلزلت» فيه تأكيد لحدوث الزلزال فى المستقبل ، كما أن بناءه للمجهول جاء لتركيز الاهتمام فى الحديث ذاته .

---

(٦) أخرجه أحمد والترمذى والنسائى .
راجع مختصر تفسير ابن كثير ، ج ٣ ، ص ٦٦٥ ، ٦٦٦

وابتداء السورة «بإذا» له أثره البيانى فى هذا الموقف الذى يأتى بغتة إمعانا فى الترهيب ، بينما تدل إضافة ضمير الأرض إلى الزلزال على أنه زلزالها الشديد الذى ليس بعده زلزال .

ومن فضل الله ــ سبحانه ، وتعالى ــ على عباده ورحمته بهم ــ أنه يذكرهم دائماً بأهوال زلزال يوم القيامة فى قرآن يتلى على أسماعهم ليل نهار حتى قيام الساعة ، كما أنه يريهم بين الحين والحين ، على سبيل العظة والعبرة ، قدراً يسيراً من هذه الأهوال فى صورة زلازل عادية صغيرة تقع فجأة فى أماكن متفرقة على سطح الأرض عندما تثور وتهتز لثوان معدودات ، فلا يجد العاقل صعوبة بالقياس عليها فى تصور زلزال يوم القيامة الشديد الذى يمزق الكرة الأرضية كلها ويجعلها تلقى كل مافى باطنها . يقول الله ــ تعالى ــ آمرا عباده بتقواه ، ومخبراً لهم بأهوال زلزلة القيامة : ﴿ يَـٰٓأَيُّهَا ٱلنَّاسُ ٱتَّقُواْ رَبَّكُمْ ۚ إِنَّ زَلْزَلَةَ ٱلسَّاعَةِ شَىْءٌ عَظِيمٌ ۝١ يَوْمَ تَرَوْنَهَا تَذْهَلُ كُلُّ مُرْضِعَةٍ عَمَّآ أَرْضَعَتْ وَتَضَعُ كُلُّ ذَاتِ حَمْلٍ حَمْلَهَا وَتَرَى ٱلنَّاسَ سُكَـٰرَىٰ وَمَا هُم بِسُكَـٰرَىٰ وَلَـٰكِنَّ عَذَابَ ٱللَّهِ شَدِيدٌ ۝٢ ﴾[٧] .

---

(٧) سورة الحج : ١ ، ٢ .

الفصــل الثــانى

علم الزلازل فى التراث الإسلامى

الفصـــل الثانى

علم الزلازل فى التراث الإسلامى

محاولات قديمة :

حاول الإنسان منذ القدم أن يتعرف على أسباب حدوث الزلازل ، وكانت أفكاره عنها فى باديء الأمر قائمة على الأساطير والخرافات ، كأن يعتقد أن هناك ثوراً يحمل الأرض على أحد قرنيه وينقلها كلما تعب من قرن إلى قرن .

أو يعتقد أن الأرض محمولة فوق كتفى مارد عملاق ، وكلما التفت أو تحرك ارتجت واهتزت .

أو يعتقد أن الأموات يحاولون أن يخرجوا إلى سطح الأرض فتهتز من محاولاتهم . حتى ما جاء فى التراث الاغريقى عن الزلازل يعتبر مجرد آراء فلسفية وتخيلات بعيدة عن الواقع يمثلها رأى أرسطو الذى يقضى بأن الأرض جافة بطبيعتها ، لكن المطر يملؤها بالرطوبة وتقوم الشمس ونارها بتسخينها وتتسبب فى الرياح ، والزلازل مبعثة ريح وعواصف مكتومة فى كهف كبير بجوف الأرض ، أو هو نتيجة ضرورية لذلك[٨].

---

(٨) راجع فى ذلك :

س.م. ضياء الدين علوى ، الجغرافيا العربية فى القرنين التاسع والعاشر الميلاديين ، تعريف وتحقيق الدكتورين عبدالله الغنيم وطه جاد ، الكويت ١٩٨٠ ، ص ١١٧ .

البداية العلمية :

لكن البداية العلمية الحقيقية لتفسير ظاهرة الزلازل جاءت على أيدى علماء الحضارة الإسلامية الذين تشربوا روح الإسلام وتعاليمه ، واستلهموا منها مقومات البحث العلمـى ، ومنهج التفكير السليم فى مختلف الظواهر الكونية للتعرف على طبيعة سلوكها ، والاهتداء إلى حكمة وجودها فى ربـط الإنسان بخالقه ، وربطه أيضا بعالمه الذى يعيش فيه .

عند ابن سينا :

ذكر ابن سينا ـ على سبيل المثال ـ آراء علمية عن أسباب حدوث الزلازل لا تختلف كثيراً عما نعرفه اليوم إلّا بقدر ما حدث من تطور فى أجهزة الرصد والقياس ، من ذلك قوله :

« الزلزلة حركة تعـرض لجزء من أجـزاء الأرض بسبب ما تحته ، ولا محالة أن ذلك السبب يعرض له أن يتحرك ثم يحرك ما فوقه ، والجسم الذى يمكن أن يتحرك تحت الأرض ويحرك الأرض إما جسم بخارى دخانى قوى الاندفاع كالريح ، وإما جسم مائى سيال ، وإما جسم هوائى ، وإما جسم نارى ، وإما جسم أرضى . والجسم النارى لا يكون ناراً صرفة بل يكون لا محالة فى حكم الدخان القوى وفى حكم الريح المشتعلة ، والجسم الأرضى لا تعرض له الحركة أيضاً إلا لسبب مثل السبب

الذى عرض لهذا الجسم الأرضى فيكون السبب الأول الفاعل للزلزلة ذلك ، فأما الجسم الريحى ، ناريا كان أو غير نارى ، فإنه يجب أن يكون هو المنبعث تحت الأرض ، الموجب لتمويج الأرض فى أكثر الأمر »[٩] .

وقد أوضح ابن سينا ـ رحمه الله ـ أيضاً : أن أكثر أسباب الزلزلة هى « الرياح المحتقنة » ، واستدل على ذلك بأن البلاد التى تكثر فيها الزلازل إذا حفرت فيها آبار وقنى كثيرة حتى كثرت مخالص الرياح والأبخرة قلّت الزلازل بها ، وأكثر ماتكون الزلازل إنما تكون عند فقدان الرياح ؛ لأن مواد الرياح يعرض لها الاحتباس ، وأيضاً أكثر ماتكون الزلازل فى بلاد متخلخلة غور الأرض ، متكاثفة وجهها ، أو مغمورة الوجه بماء يجرى ، أو ماء غمر كثير لايقدر الريح على خرقه .

هذا ـ ولا يفوت عبقرى الحضارة الإسلامية أن يذكر بفوائد الزلازل ، والغاية منها فيقول :

« منافع الزلزال تفتيح مسام الأرض للعيون ، وإشعار قلوب فسقة العامة رعب الله تعالى »[١٠] .

---

(٩) د. عبد الحليم منتصر ، تاريخ العلم ودور العلماء العرب فى تقدمه ، دار المعارف ١٩٨٠ ، ص ١٤١ ـ د. أحمد فؤاد باشا ، التراث العلمى للحضارة الإسلامية ومكانته فى تاريخ العلم والحضارة ، القاهرة ١٩٨٤ ، ص ١٢٥

(١٠) المرجع السابق . أنظر أيضًا : د. زغلول النجار و د. على الدفاع ، إسهام علماء المسلمين الأوائل فى تطور علوم الأرض ، مكتب التربية العربى لدول الخليج ، الرياض ١٤٠٩ هـ ـ ١٩٨٨ م .

كذلك يقدم ابن سينا وصفا تفصيليا لبعض أنواع الزلازل فيقول :

«منها مايكون على الاستقامة إلى فوق ، ومنها مايكون مع ميل إلى جهة ، ولم تكن جهات الزلزلة متفقة ، بل كان من الزلازل رجفية ، مايتخيل معها أن الأرض تقذف إلى فوق (أى زلازل رأسية) .

ومنها ماتكون اختلاجية عرضية رعشية (وهى ماينتج عنها الطيات الملتوية) .

ومنها ماتكون مائلة إلى القطرين ويسمى القطقط (وهى ما تحرك الأرض فى اتجاهين وينتج عنها ما يعرف بالطيات المضطجعة) .

وما كان منه مع ذهابه فى العرض يذهب فى الارتفاع أيضاً ، ويسمى سلّميّا (أى مايحرك الأرض حركة رأسية وأفقية معاً ويسبب مايعرف بالانكسارات السُّلَّميّة)[11] .

---

(١١) أنظر المرجعين السابقين . وتجدر الإشارة إلى أننا لم نعثر على معنى لغوى لكلمة «القِطْقِط» يتصل بحدوث الزلزال ، اللهم إلا ما جاء فى لسان العرب ، مادة «قطط» ليشير إلى الميل والانحدار ، حيث يقال : تقطقطت الدَّلو إلى البئر ، أى انحدرت ، ولعل هذا ما قصده ابن سينا من التسمية تعبيرا عن الحركة المائلة للزلزلة . أما الزلزال السلّميّ الذى يذهب فى العرض وفى الارتفاع ففيه معنى السُّلّم الذى يُرتقى عليه .

تصور ابن سينا والعلم الحديث :

ويتضح من الدراسة التحليلية لهذه النصوص التراثية أن تصور ابن سينا للرياح المحبوسة قريب من مفهوم « الطاقة الزلزالية » الذى ظهر حديثاً ، ويختلف تماماً عما ذكرناه منسوباً لأرسطو . كما أن آراء ابن سينا تتفق مع ما يقول به العلم الحديث من أن خسف الأرض الملازم أحياناً للهزّات الأرضية يحدث نتيجة لخروج حمم بركانية ، أو لوجود فراغات تحت سطح الأرض فى المناطق التى يكثر فيها حجر الجير ، وكنتيجة للهزّة الأرضية ينخفض مستوى سطح الأرض ، أو يحدث أحياناً انجراف أرضى أثناء حدوث الزلازل . وفيما يتعلق بفوائد الزلازل فى تفتح العيون فهو صحيح من الناحية العملية ، حيث تؤدى الزلازل إلى تفتح عيون المياه ، وخاصة عيون المياه المعدنية فى بعض الحالات .

أما عن تقلص عدد الزلازل فى المناطق التى تحفر فيها آبار وقنى كثيرة ، بحسب رأى ابن سينا ، فقد كان يعتقد ـ حتى عهد قريب ـ أنه رأى لا يوجد له سند علمى نظراً لعمق مصادر التحركات الأرضية المسببة للزلازل إلى مسافات كبيرة تحت سطح الأرض . ولكن دراسة السجلات الاهتزازية أوضحت ـ حديثا ـ أن أغلب الزلازل تنشأ عند أعماق تبدأ من (٥) كيلو متر حتى أقل من (٦٠) كم تحت سطح الأرض ، وتعرف

بالزلازل الضحلة ، بينما تحدث نسبة ضئيلة من الزلازل العميقة والمتوسطة العمق عند أعماق أكبر تصل إلى (٧٠٠) كم . وتتجه الأنظار حالياً إلى الاستفادة من هذه الدراسات فى ولاية كاليفورنيا التى تحدث بها الزلازل عند أعماق ضحلة ، مما يسهل من عمليات الحفر باعتباره من الحالات المناسبة للتحكم فى الزلازل عن طريق تحرير الضغط المحبوس أولا بأول قبل أن يتراكم وينطلق على هيئة زلزال قوى . لكن المخاطرة باستعمال هذه الطريقة عن طريق ضخ السوائل أو التفجيرات النووية تتطلب أولا إجراء العديد من الاختبارات فى مناطق نائية للتحقق من جدواها[١٢] .

وهنا تجدر الإشارة إلى أهمية الدراسات التراثية ، ليس فقط من حيث التأصيل للعلوم وتصحيح تاريخها ، ولكن أيضاً من حيث الدور الهام الذى تؤديه فى فهم طبيعة الظواهر الكونية التى تتطلب إلماماً دقيقا بوقائع تاريخها الطويل من خلال سجلات موثقة على أساس من الملاحظة والتجريب . وليس هناك من شك فى أن تجميع المعلومات والسجلات التراثية المتعلقة بظاهرة

(١٢) تاربوك و لوتجنز ، الأرض ، مقدمة للجيولوجيا الطبيعية ، ترجمة : د. عمر سليمان حموده ، د. البهلول على اليعقوبى ، د. مصطفى جمعة سالم ، منشورات مجمع الفاتح للجامعات ، جامعة الفاتح ، طرابلس ليبيا ١٩٨٩ ، ص ٤٠٠

الزلازل وتواريخ حدوثها ودرجات تأثيرها فى المنطقة العربية والإسلامية خلال القرون الماضية يعتبر مقدمة ضرورية لأى دراسات معاصرة أو مستقبلية جادة فى هذا المجال ، خاصة بعدما ظهر حالياً ما يشير إلى أن أجزاء كثيرة من أراضى هذه المنطقة لم تعد بعيدة تماماً عن «الأحزمة» النشطة زلزالياً فى أماكن محددة ومعروفة من العالم[١٣] .

(١٣) تعرضت مصر لزلزال متوسط الشدة عصر يوم الاثنين الموافق ١٢ من أكتوبر ١٩٩٢ وكان مركزه جنوب غرب القاهرة . وقد حدث زلزال مشابه له فى نفس الموقع وبنفس القوة تقريبا منذ ١٤٥ عاما ، وذلك فى ٨ أغسطس ١٨٤٧ م ، وهذا الفارق الزمنى الكبير لا يعنى بالضرورة ندرة حدوث الزلازل فى هذه المنطقة ، أو الأمان التام من تأثيرات مراكز الزلازل العنيفة فى الأحزمة النشطة رغم بعدها ، ودراسة التاريخ الزلزالى تُبصِّر الأجيال بحجم الظاهرة التى يتعاملون معها .

الفصل الثالث

علم الزلازل فى العصر الحديث

الفصـــل الثالث

علم الزلازل فى العصر الحديث

العلم الحديث الذى يعنى بدراسة ظاهرة الزلازل والتعرف على أسبابها وخواصها وآثارها من مختلف الجوانب الجيولوجية والفيزيائية والجغرافية والهندسية والكونية وغيرها يعرف باسم « علم الزلازل » أو « السيزمولوجيا » **Seismology** ، وهى كلمة إغريقية الأصل . ويرتبط هذا العلم فى تقدمه ارتباطا وثيقاً بالتطور المعرفى لتركيب الأرض وطبيعة القوى والتفاعلات التى تحدث فى باطنها .

التركيب الداخلى للأرض :

معطيات الدراسات الحديثة :

تخبرنا الدراسات الحديثة للكواكب والنجوم بأن جميع الأجرام التابعة لمجموعتنا الشمسية قد تشكلت من سحابة ضخمة مكونة فى معظمها من عنصرى الهيدروجين والهيليوم مع نسب ضئيلة فقط من العناصر الأخرى . ودونما دخول فى تفاصيل النظريات التى تصف مراحل تكوين النظام الشمسى فى شكله النهائى ؛ فإن التصور العلمى السائد بالنسبة للأرض يقضى بأن

الانشطار الذرى للعناصر المشعة هو الذى ساهم ، مع الحرارة المنبعثة من تصادم الأجسام ، فى إحداث انصهار جزئى فى باطن الأرض . ويعتقد بأن هذا الانصهار قد أدى إلى غوص العناصر الثقيلة ، وهى الحديد والنيكل بصورة رئيسية ، بينما طفت المكونات الصخرية الخفيفة إلى أعلى . ونتيجة لهذا التمايز الكيميائى الذى بدأ مبكراً فى تاريخ الأرض ، ولا يزال يحدث حتى الآن ولكن بمعدّل أقل ، فإن التركيب الداخلى للأرض ليس متجانساً ، ويتفق العلماء على تقسيمه إلى نطاقات أساسية ذات خواص مختلفة ، تشمل من الباطن حتى السطح :

١ ـ اللب (القلب) الداخلى ، وهو نطاق صلب غنى بالحديد يبلغ نصف قطره حوالى (١٢١٦) كيلو متراً .

٢ ـ اللب (القلب) الخارجى ، وهو نطاق فلزى منصهر (سائل) يبلغ سمكه (٢٢٧٠) كيلو متراً .

ويمثل اللب بجزئيه الداخلى والخارجى حوالى سُدْس حجم الأرض ، ومايقرب من ثُلث كتلتها . ويبلغ الضغط عند مركز الأرض حدًّا هائلًا يفوق الضغط الجوى عند سطحها بملايين المرات ، كما أن درجة الحرارة عند مركز اللب تصل إلى مابين (٣٠٠٠) و(٥٠٠٠°م) . ومن خصائص اللب الأكثر أهمية كثافته العالية التى تصل إلى (١٣,٥) ضعف كثافة الماء . وبرغم

التأكد من صحة هذه الخصائص العامة المميزة للب الأرض ؛ فإن الجهود المبذولة لتحديد ماهية هذا اللب لا تزال موضع تخمين .

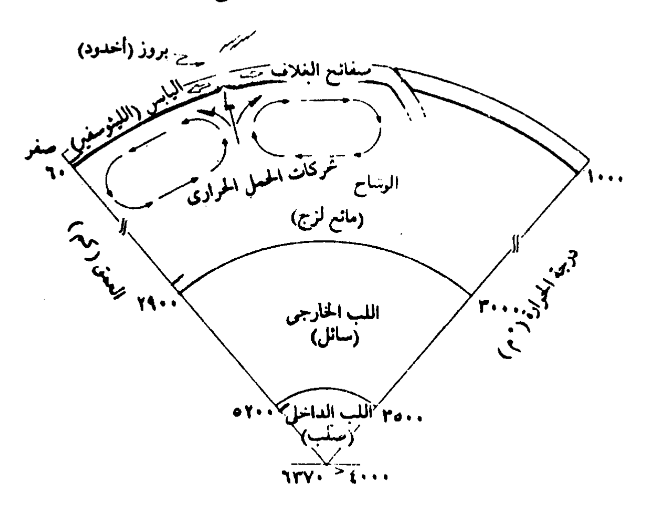
٣ ــ الوشاح Mantle ، ويكوّن أكثر من ٨٠٪ من حجم القشرة الأرضية ، ويبلغ سمكه (٢٢٨٥) كيلو متر ، وهو عبارة عن طبقة صخرية يقع ضمنها نطاق ساخن ضعيف قادر على التدفق التدريجي (فيما بين عمق ١٠٠ إلى ٧٠٠ كم) يسمى « الغلاف الوهن » Asthenosphere .

٤ ــ القشرة الأرضية ، ويصل متوسط سمكها تحت المحيطات إلى (٥) كيلو مترات ، أما سمكها في القارات فيصل إلى (٥٠) كيلو متر ؛ بل يزيد في عدد من المناطق الجبلية المعروفة عن (٦٠) كيلو متر ، وتبلغ كثافتها (٢,٨) ضعف كثافة الماء .

والنطاق الذى يشمل القشرة الأرضية والجزء العلوى من الوشاح حتى عمق حوالى (١٠٠ كم) يسمى بالغلاف الصخرى (الليثوسفير) Lithosphere ، وهو نطاق صلب هش بارد . ويعتقد بأن التقلبات التى تحدث داخل الغلاف الوهن الساخن هى التى تسبب الحركة فى الغلاف الصخرى الصلب فوقه ، لكن قلة معرفتنا بطبيعة القوى التى تعتمل وتتفاعل فى باطن الأرض تجعلنا عاجزين عن تحديد كل المصادر الضرورية وإسهاماتها الفعلية فى تكوين طاقة الأرض الهائلة .

بالرغم من هذا فإن هناك اتفاق بين معظم المشتغلين بعلوم الأرض فى الوقت الحالى على أن الحرارة الناتجة عن الانحلال الإشعاعى فى باطن الأرض ، منذ نشأتها كجسم صلب ، تسهم بصفة أساسية فى ميزان طاقتها . ذلك أن جزءاً من العناصر المشعة الموجودة بكميات صغيرة فى كل الصخور ، على الأخص عناصر (اليورانيوم) و (الثوريوم) و (البوتاسيوم) . يتحول أثناء عملية الانحلال الإشعاعى إلى طاقة حرارية يمكنها على امتداد أزمنة جيولوجية تبلغ بلايين السنين أن ترفع درجة الحرارة كثيراً فى باطن الأرض . وهذا بدوره يؤدى إلى نشوء تدفق حرارى باتجاه سطح الأرض . فإذا ما كان معدل الحرارة المفقودة خلال السطح أقل من معدل الحرارة المتولدة ، نظراً لرداءة توصيل صخور القشرة الأرضية ، فإن درجات الحرارة فى باطن الأرض تواصل ارتفاعها باستمرار محدثة الانصهار وما يترتب عليه من حدوث تيارات الحمل الحرارى . ويتفق هذا التصور مع ما تدلنا عليه النشاطات البركانية من وجود درجات حرارة عالية على أعماق ضحلة نسبياً . كما بينت دراسات الموجات الزلزالية أن بعض الطبقات الداخلية توجد فى حالة سائلة منصهرة كما أسلفنا ، وأظهرت أبحاث المغناطيسية الأرضية أن المجال المغناطيسى للأرض ينشأ داخل اللب السائل على أكثر الاحتمالات نتيجة الحركة الدورانية للمواقع الموصلة المترتبة على نشاط تيارات الحمل

الحرارى . وقد أسهمت هذه التفسيرات كثيراً فى تعزيز نظرية « تكتونيات » الصفائح التى تصف تغيّرات السطح الخارجى للأرض نتيجة العمليات « الديناميكية » التى تحدث تحته[١٤] .



الشكل (١) تمثيل توضيحى للتركيب الداخلى للأرض ودرجات الحرارة المستنتجة .

---

(١٤) ف.م. هامزا ، إنسياب حرارة الأرض ومصادر الحرارة الأرضية ، مجلة العلم والمجتمع ، اليونسكو العدد ٦٧ (١٩٨٧) . راجع أيضًا تقريرًا بعنوان «رحلة إلى جوف الأرض» فى مجلة العلم والتكنولوجيا» ، بيروت ، العدد ٢١ (١٩٩٠) ، وذلك لمعرفة المزيد عن المصادر المحتملة للطاقة فى الكرة الأرضية .

نظرية الصفائح التكتونية :

الأرض فى حقيقة الأمر عبارة عن كوكب دائب الحركة ، ليس فقط من حيث حركتها الظاهرية حول نفسها وحول الشمس ، ولكن أيضا من حيث العمليات التى تغير من سطحها بصورة مستمرة ، سواء كانت عمليات هادفة كالتجوية والتعرية ، أو عمليات بناءه مضادة لها تعمل على زيادة رفع الأراضى فى اتجاه مضاد للجاذبية ، مثل عمليات النشاط البركانى وبناء الجبال ، وهى تعتمد على الحرارة الداخلية للأرض كمصدر من مصادر الطاقة .

وقد أمكن خلال العقود القليلة الماضية فقط صياغة نظرية حديثة لتفسير السلوك الداخلى للأرض والرَّبط بين كل العمليات الأساسية التى تشاهد على سطح الأرض كنتيجة للنشاط الداخلى المكثف . وتعرف هذه النظرية التى تمدنا بتعليل مقبول للظواهر الناتجة عن حركية الأرض باسم نظرية الصفائح (أو الألواح) التكتونية (أو الحركية) Plate tectonics وتقضى هذه النظرية بأن الغلاف الصخرى الخارجى للأرض (الليثوسفير) قد تفتق إلى عدة قطع رقيقة منفردة تكوّن ألواحًا (أو صفائح) سمكها يصل إلى حوالى (١٠٠ كم) ، وتتحرك هذه الصفائح بالنسبة لبعضها البعض بمعدل بطىء فى حدود سنتيمترات قليلة كل عام . ويعتقد

بأن السبب الأساسى لحركة هذه الصفائح هو محرك حرارى ناتج عن التوزيع غير المتساوى للحرارة داخل الأرض . فعندما ترتفع المواد الساخنة إلى أعلى من أعماق الأرض وتتوزع جانبيا عن طريق تيارات الحمل ، تبدأ الصفائح فى الحركة .

ونظراً لأن كل صفيحة تتحرك كوحدة مستقلة ، فإنه يحدث اللقاء بين الصفائح على امتداد حوافها أو أطرافها . وقد أمكن التعرف أخيراً على ثلاثة أنواع مختلفة من حواف الألواح ، أمكن تمييزها عن طريق الحركة التى تحدثها ، هى[١٥] .

١ ـ حواف متباعدة ، حيث تتحرك الألواح بعيدا عن بعضها تاركة بينها ثغرة تمتلىء بصخور منصهرة منبعثة من الغلاف الوهن الساخن ، ومع مرور الزمن تتراكم هذه المواد وتبرد ببطء مكونة قاعاً بحريا (أو محيطيا) رقيقا . وتستمر التباعدات والامتلاءات المتتالية فى إضافة غلاف صخرى جديد بين الألواح (أو الصفائح) المتباعدة ، ومن ثم تضاف أجزاء جديدة إلى القشرة المحيطية . ويتفق العلماء على أن هذه الكيفية ، التى يسمونها انفراج قيعان البحار Sea floor spreading ، هى التى كوّنت قاع المحيط الأطلسى خلال السنين الغابرة من عمر الأرض . كما يعتقد

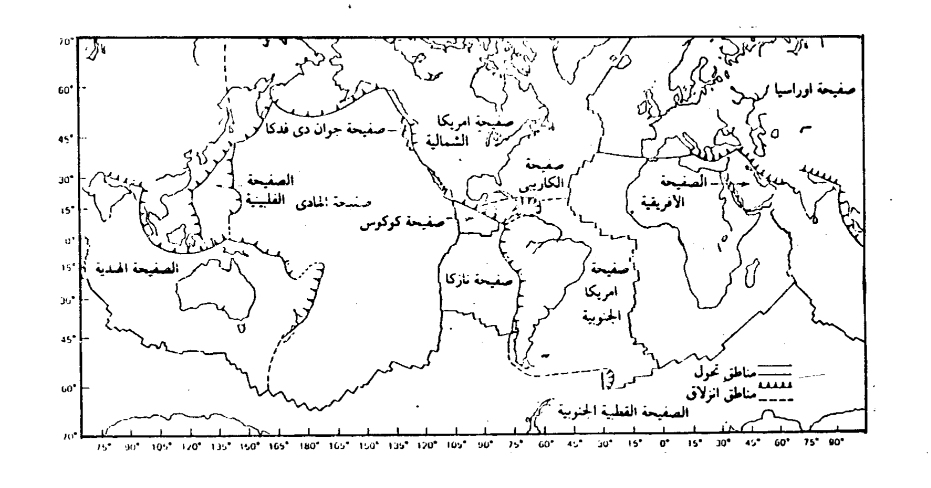
---

(١٥) تاربوك ولوتجنز ، مرجع سابق .

بأن البحر الأحمر هو موقع لحواف متباعدة تكونت حديثا (بالنسبة للزمن الجيولوجى) ، حيث انفصلت شبه الجزيرة العربية عن أفريقيا وبدأت فى الحركة باتجاه الشمال الشرق ، ولعل فى هذا ما يفيد المتخصصين فى وضع تصور لما كان عليه المحيط الأطلسى بداية تكوينه .

٢ ـ حواف متقاربة ، حيث تتقارب الألواح (أو الصفائح) من بعضها مسببة انزلاق أحد اللوحين المتقاربين تحت الآخر على نحو ما يحدث بين لوحين محيطيين ، أو بين لوحين قاريين أو بين لوح محيطى وآخر قارى . ولكل من هذه الحالات التقاربية خصائصها المميزة التى لا يتسع المجال هنا لذكرها .

٣ ـ حواف متحولة . وهى مناطق فوالق التحويل Transform fault boundaries التى (تتواجد) عند مواقع انزلاق الصفائح جانبيا بمحاذاة بعضها البعض دون هدم أو بناء للقشرة الأرضية . ورغم أن معظم فوالق التحويل تنشأ فى اتجاه حركة الصفائح ، وتقع داخل الأحواض المحيطة ، إلا أن بعضها يقطع القارات ، مثل « فالوسا اندرياس » المعروف بولاية كاليفورنيا الأمريكية . فعلى امتداد هذا الفالق لمسافة تزيد على (٩٧٥) كيلومتر تزلق صفيحة المحيط الهادى فى اتجاه الشمال الغربى مجتازة صفيحة أمريكا الشمالية .



شكل (٢) توزيعات الصفائح التكتونية الرئيسية

وهكذا نجد ــ بصورة عامة ــ أن الصفائح التكتونية قد تتباعد عن بعضها البعض ، أو تتقابل فى حركتها عند الأخاديد فتنثنى إحداها وتهبط تحت الأخرى إلى داخل (الوشاح) فى عملية تسمى « الانزلاق » . وفى بعض الحالات تتحرك إحدى الصفائح مارة أمام الأخرى جنبا إلى جنب بدون تقابل أو تباعد . وهذا يدل على أن طبيعة الحدود بين الصفائح التكتونية تتوقف على اتجاه حركتها النسبية . وقد حظيت هذه النظرية بقبول متزايد بفضل ثراء الشواهد والأدلة التى تتجمع شيئا فشيئا ، خاصة بعد ظهور تقنيات متقدمة للرصد والقياس فى عصرنا الحاضر .

التفسير العملى لظاهرة الزلازل :

وفقاً لنظرية الصفائح التكتونية ، وإسناداً إلى صلابة الغلاف الخارجى للأرض (الليثوسفير) ، يمكن القول بأن حركة كل صفيحة على حدة تتبع القوانين الهندسية البسيطة ، وإذا ما تحددت معاملات هذه الحركة فإن الإزاحات النسبية للصفائح يمكن تتبعها فى أى مكان على امتداد حدود الصفائح . لكن الأمر من الناحية العملية ليس بهذه البساطة نظراً لصعوبة إجراء القياسات الضرورية بطرق مباشرة من جهة ، ولقلة المعلومات المتوفرة فى الوقت الحاضر عند طبيعة التفاعلات المعقدة فى باطن

الأرض من جهة أخرى . وبالرغم من هذا فإن خاصية الإزاحات النسبية التى تقدمها لنا نظرية الصفائح التكتونية يمكن أن تدلنا على أن كل أنواع النشاط التكتونى للأرض ، مثل أغلب الزلازل والبراكين وتكوين الجبال ، يحدث على حدود هذه الصفائح (أو الألواح) ، فكأن **هناك علاقة وثيقة ومباشرة بين حواف الصفائح وحدوث الزلازل . ويلاحظ من سجلات التوزيع الزلزالى فى العالم أن هذه العلاقة أكثر وضوحاً فى مناطق الخنادق البحرية** حيث تغوص الصفائح المحيطة داخل الوشاح . وفى الوقت الذى تحدث فى الزلازل فى الألواح الغائرة فإن زلازل ضحلة أيضا تحدث فى الألواح التى تعلوها . ويعتقد بأن هذه الزلازل الضحلة تتكون بفعل الإجهاد الناتج عن مرور الصفائح الغائرة أسفل الصفائح التى تعلوها .

وتجدر الإشارة إلى أن دراسة أسلوب وكيفية حدوث الزلازل كان هو العامل الرئيسى لاكتشاف الصفائح التكتونية ، وقد لوحظ أن بؤر الزلازل فى مناطق الانزلاق توجد فى مستوى الصفيحة المنزلقة حتى أعماق (٧٠٠) كم .

من ناحية أخرى ، يمكن للهزات الأرضية (التكتونية) الكبيرة أن تحدث ليس فقط على الفوالق السطحية (أى التى تقطع سطح الأرض) ، ولكن أيضا على فوالق خفية تحت الطيات الأرضية المحدبة Anticline . ومن أوضح الأمثلة على ذلك تلك

الهزة الأرضية التى حدثت فى « سبيتاك » بأرمينيا يوم ٧ ديسمبر عام ١٩٨٨ وراح ضحيتها مالا يقل عن (٢٥٠٠٠) شخص . لقد كانت الهزة الأرضية الرئيسية نتيجة انزلاق حدث على سطح فالق عكسى يقع تحت طيَّة محدبة حديثة . وقد وجد تصدع على سطح الفالق تراوح امتداده بين (٨ و ١٢) كيلومترا ، فى حين توزعت الهزات الثانوية اللاحقة على منطقة طولها (٥٠) كيلومتر تحت الطية ، ويشير هذا إلى أن جزءًا بسيطا من الإزاحة التى سببت الزلزال قد وصل إلى سطح الأرض . ويرى علماء الزلازل أن تحديد حجم زلزال أرمينيا وآثاره التدميرية لم يكن ممكنا على أساس فالقها السطحى القصير ، ولكن الطيَّة وفَّرت مؤشرا موثوقا يجب عدم إهماله مستقبلا فى أى دراسات زلزالية[16] .

الزلازل البركانية وتميزها :

وبالإضافة إلى هذا النوع من الزلازل التكتونية (التى تتسبب عن الحركات الأرضية) ، فإن الزلازل البركانية تكوّن بذاتها قسمًا من أنواع الزلازل التى تتسبب عن تحركات الصُّهارة (ماجما **Magma**) تحت القشرة الأرضية . ومثل هذه الزلازل البركانية شديدة الصلة بتوازن البراكين ، وقد تنشأ عن انفجارات فى فوهة أحد البراكين ، أو عن انكسار فى الصخور

(١٦) ر.س. ستاين ، ر.س. ييتس ، الهزات الأرضية الخفية ، مجلة العلوم ، الكويت ، المجلد ٧ ـ العدد ١ ، يناير ١٩٩٠م .

بالقرب من البركان ، أو قد تكون ناشئة عن مجرد الضغط الذى تسببه غازات الحمم البركانية .

تتميز الزلازل البركانية بأنها محلّية إلى أقصى حد ، وهى سطحية جدا ، وقد تكون بالغة العنف بالقرب من البركان ولكن شدتها تخف على بعد مسافة قصيرة منه . وفى بعض الأحيان تخفق آلة رصد الزلازل فى تسجيل زلزال بركانى يقع على مسافة كيلومترات قليلة منها ، مما يوضح إلى أى مدى يعد هذا النوع من الزلازل قريبا من السطح[١٧] .

وهناك بعض الآراء الأخرى التى تحاول أن تربط بين حدوث نشاط زلزالى فى منطقة ما بين أسباب عارضة من قبيل الانهيارات المفاجئة للكهوف والمناجم ، أو إنشاء بحيرات صناعية ومحطات قوى كهرومائية ، أو إجراء تفجيرات نووية أو سقوط نيازك وشهب ، أو حدوث انقلابات فلكية فى الفضاء تذيع من اقتران كواكب المجموعة الشمسية وما يتبع هذا من تغيرات فى كمية الجذب على الأرض ، أو غير ذلك من العوامل التى يعتقد أن لها أثرًا تنشيطيا للهزات الزلزالية بسبب ما حدث من خلل فى اتزان القشرة الأرضية .

---

(١٧) فردريك هـ. يو ، كل شيء عن البراكين والزلازل ، ترجمة : د. الدمرداش عبدالمجيد سرحان ، دار المعارف ، الطبعة السابعة ١٩٩٢ ، ص ١٠٤ .

شكل (٣) التوزيع العالمى للزلازل

وأيا ما كان الأمر بالنسبة لهذه الآراء وغيرها من النظريات التفسيرية لأسباب ظاهرة الزلازل ، فإنه من الثابت عمليا وتاريخيا أن مواد الأرض سوف تستمر فى الحركة طالما بقيت الحرارة فى الأعماق أكثر ارتفاعًا مما هى عليه عند السطح ، وأن مواقع وأشكال القارات والأحواض المحيطية سوف تتغير طالما بقى هذا التدفق الداخلى الذى يعمل كمحرك حرارى لغلاف الأرض الصخرى . وربما كان لكل الأسباب التى ذكرناها مجتمعة دور ــ بدرجات متفاوتة ــ فى حدوث ظواهر الحركات الأرضية المختلفة ، بما فيها ظاهرة حدوث الزلازل التى يعجز العلم البشرى حتى الآن عن الإحاطة بكل أسبابها .

الأحزمة الزلزالية :

تدل خرائط التوزيع العالمى للزلازل على أن ٩٥ ٪ من الطاقة الزلزالية المحررة تتركز فى بضعة نطاقات (أو أحزمة) ضيقة تطوق الكرة الأرضية . ويقع ٨٠ ٪ من هذا النشاط الزلزالى فى الحزام المطوق للمحيط الهادى ، والذى يمر بالقرب من شواطئه الشرقية والغربية ويشمل مناطق ذات زلازل شديدة مثل اليابان والفلبين وشيلى ، فى حين يقع ١٥ ٪ من هذه الطاقة الزلزالية النشطة فى الحزام الذى يبدأ فى المكسيك ثم يقطع جزر الهند الغربية متجها إلى البحر المتوسط ووسط أوروبا ، ثم ينحرف ثانية خلال آسيا

الصغرى والهند وجزر الهند الشرقية لكى يلتحم مع الحزام الأول فى جنوب المحيط الهادى . ويتوافق هذا النطاق مع نظام مرتفعات وسط المحيطات التى تمثل منطقة نشاط زلزالى متكرر ولكنه ضعيف الحدة . ومن الواضح أن هذا الحزام يمر بمناطق عديدة تمتد إلى جبال الهيمالايا وباكستان وإيران والعراق وجنوب شرق دول « الكومونولث » الروسية ، ثم إلى تركيا ويوغوسلافيا وأسبانيا . ويتبقى ٥ ٪ من الزلازل موزعة على بقية العالم .

ومن الجدير بالذكر أن الأحزمة الزلزالية تشمل أيضاً حزام الأخدود الإفريقى الشرقى المعروف بنشاطه الممتد من الكونغو إلى كينيا وأوغندا وشرق السودان إلى البحر الأحمر ، وهناك حزام آخر يمتد من شمال السودان إلى ليبيا والجزائر ثم المغرب . هذا بالإضافة إلى وجود الكثير من تركيبات الصدوع المعقدة التى تمثل أحزمة زلزالية محلية فى معظم أجزاء القشرة الأرضية ، وتعتمد معدلات نشاطها على الظروف التكتونية التى نشأت فيها وتؤثر عليها .

موقع مصر من أحزمة الزلازل :

وهناك مناطق معينة على سطح الكرة الأرضية تتميز بالاستقرار النسبى ، لأنها تتمتع بحماية مصدرها هو تكوُّن الصخور القديمة فى قلب القارات . وتعتبر مصر من المناطق

البعيدة إلى حدٍّ ما عن الأحزمة الزلزالية النشطة ، وذلك لأنها تقع وسط الصفيحة الأفريقية الثابتة وأقرب حواف الصفائح المتقاربة (أو الالتحامات الصفائحية) إليها هي تلك التي تفصل القارة الأفريقية عن القارة الأوربية ـ الأسيوية (أوراسيا) والتي تمتد من أسبانيا وإيطاليا عبر البحر المتوسط إلى اليونان وتركيا وعندما تصبح الاهتزازات الزلزالية الناجمة عن هذه الحافة الالتحامية كبيرة ، فإن أثرها يمتد عبر البحر الأبيض المتوسط إلى شمال مصر كما حدث سنة ١٣٠٣ حين سقط فنار الأسكندرية الشهير ، وكما حدث مؤخراً فى سنة ١٩٥٥ م وهناك أيضاً من الشرق منطقة تباعد صفيحتى أفريقيا وآسيا فى البحر الأحمر .

كذلك يمكن للزلازل الضعيفة والمتوسطة أن تحدث بنسب ضئيلة فى المناطق المستقرة نسبيا بعيداً عن حدود الصفائح التكتونية ، وذلك بسبب حشود الصدوع القديمة التى تنشط بين الحين والحين لسبب أو لآخر . ومن أوضح الأمثلة على ذلك زلزال منطقة جبل قطرانى على حدود بحيرة قارون الذى ضرب مصر مؤخراً فى الثانى عشر من أكتوبر ١٩٩٢ ، فهو نتيجة نشاط صدع قديم يمر شمال الفيوم شرقا حتى البحر الأحمر ويمتد ناحية الشمال الشرقى إلى أرض فلسطين . وكانت آخر هزة عنيفة لهذه المنطقة منذ ١٤٥ عاما عندما تجدد نشاط هذا الصدع فيها عام ١٨٤٧م . ولهذا فإن الخطوة الأولى فى الدراسات

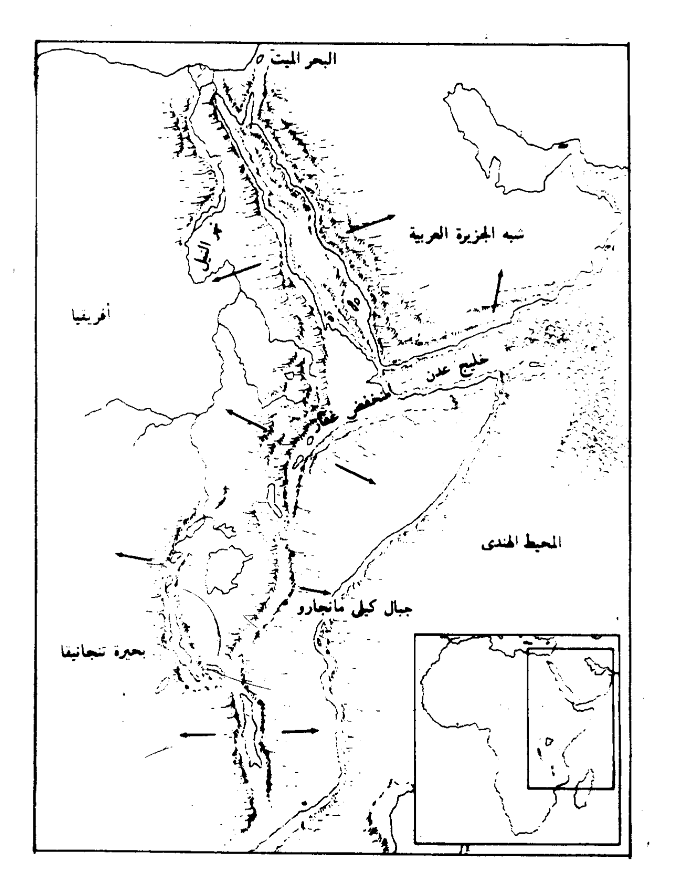
الزلزالية لمنطقة ما فى أية صفيحة قارية تتمثل فى القيام بمسحها جيولوجيا ورسم خرائط تفصيلية لجميع الفوالق والصدوع القديمة ومحاولة تحديد معدّلات حدوث الزلازل (أو حتى معرفة وقت حدوث آخر زلزال على الأقل) عند كل صدع (أو فالق). والواقع أن تقديرات حدوث الظاهرة الزلزالية ومخاطرها تعتمد بصفة أساسية على التحديد الممكن لتوزيعات الهزات الأرضية مكانيا، وزمانيا، خاصة وأن الدراسات الحديثة أظهرت إمكانية «هجرة» مراكز الزلازل فى اتجاه معين، كما أظهرت أيضاً إمكانية نمو بعض الفوالق والصدوع الكبيرة بالانتشار خلال مناطق من القشرة الأرضية لم تكن بها صدوع أو فوالق من قبل[18].

---

(١٨) لمزيد من التفصيل راجع :

ج. اتشاش، الصفائح التكتونية إطار لتفهم كوكبنا الحى، مجلة العلم والمجتمع، اليونسكو، ع ٦٧ (١٩٨٧).

وهنا نؤكد مرة أخرى على ما سبق أن أشرنا إليه من ضرورة الاهتمام بالتاريخ الزلزالى للمنطقة العربية والإسلامية من واقع ما جاء فى المؤلفات التراثية لعلماء المسلمين، مثل كتاب «بدائع الزهور ووقائع الدهور» لابن إياس، وكتاب «كشف الصلصلة عن وصف الزلزلة» لجلال الدين السيوطى، وغيرهما. إن مثل هذه الكتب التراثية لم تعد قديمة، والاسترشاد بها فى رسم خريطة التوزيع الزلزالى فى المنطقة العربية بعامة، ومصر بخاصة، أصبح ضرورة علمية وخطوة منهجية لا غنى عنها. (راجع ما كتبناه عن علم الزلازل فى التراث الإسلامى، مجلة الأزهر، الجزء العاشر، عدد شوال ١٤١١هـ/ إبريل ـ مايو ١٩٩١م).



شكل (٤) إنشطار شرق أفريقيا وما سيترتب عليه

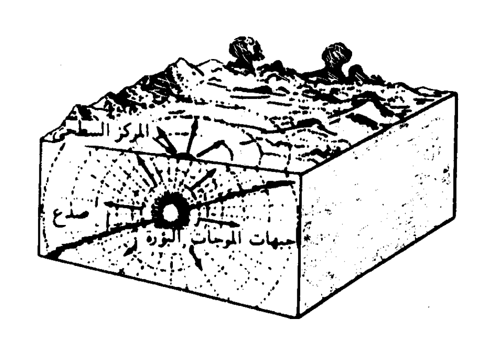
موجات الطاقة الزلزالية :

علمنا مما سبق أن الأرض أشبه بآلة حرارية كبيرة ، أو بمفاعل قوى هائل ، يوفران الطاقة المطلوبة لحركة الصفائح التكتونية وكل ما يرتبط بها من ظواهر سطحية . ونحن نشعر بآثار هذه الحركة أحيانا فى صورة هزات مفاجئة لأجزاء من القشرة الأرضية فى أماكن مختلفة من العالم . وتتراوح شدة هذه الهزات الأرضية ، أو الزلازل ، بين الضعف والعنف تبعًا لمقدار التصريف الفجائى للطاقة المختزنة فى طبقات الغلاف الصخرى (الليثوسفير) بسبب الحركات المستمرة للصفائح القارية والمحيطية . كما يحدث التمزق عادة على امتداد الفوالق أو (الصدوع) القديمة حينما تزيد الطاقة المتراكمة فيها عن القوى التى تحفظ تماسك الصخور وترابطها مع بعضها على طول هذه الفوالق . مثال ذلك ما لوحظ على امتداد فالق الأناضول بتركيا من حدوث « هجرة » لمراكز الزلازل إلى جهة الغرب بصورة مستمرة منذ بداية القرن الحالى ، كما أظهرت توزيعات النشاط الزلزالى على امتداد مناطق الانزلاق وجود قطاعات ذات نشاط زلزالى قليل تعمل كفجوات تتراكم فيها الطاقة ولا تتحرر فى صورة هزات أرضية خفيفة . ومن ثم تكون هناك إمكانية لحدوث هزات عنيفة فى مثل هذه الفجوات الزلزالية .

ويشرح علم فيزياء الأرض آلية تراكم وتصريف الطاقة الزلزالية على أساس ما يحدث من تشكّل لصخور القشرة الأرضية على جانبىّ الفالق بفعل القوى الحركيّة ، حيث تنحنى الصخور ببطء شديد وتختزن طاقة مرنة على غرار ما يحدث لعمود من الخشب عند ثَنْيه . وبزيادة القوى الحركية يزداد توتر الصخور وانفعالها إلى أن تصل إلى حد الكسر ويحدث الانزلاق فى أضعف المناطق ، وهى البؤرة Focus ، وتؤثر الإزاحة الناشئة على امتداد الصدع حيث يقع انزلاق إضافى إلى أن يتم تحرّر كل الطاقة المختزنة ويسمح الانزلاق بعودة الصخور إلى وضعها الأصلى بدون إنحناء نظرًا لمرونتها ، وعندئذ يحدث الزلزال . ويطلق على ظاهرة ارتداد الصخور إلى حالتها الأصلية بعد زوال تأثير الإجهاد الواقع عليها اسم « الارتداد المرن Elastic rebound » حيث أنهَا تسلك سلوك الأجسام المرنة ، مثل سلك زنبركى أو شريط أو كرة من المطاط ، عندما تعود إلى شكلها الأصلى بعد زوال قوى الضغط أو الشد الواقعة عليها .

فكأن الزلازل فى حقيقة الأمر عبارة عن هزات سريعة خاطفة ومتلاحقة لسطح الأرض الذى نعيش عليه نتيجة وصول طاقة إجهاد زلزالية إليه تكون قد انطلقت فى جميع الاتجاهات على هيئة موجات زلزالية من بؤرة تقع على أبعاد ضحلة أو متوسطة أو عميقة تحت سطح الأرض . ويتم تصنيف الزلازل بحسب

أعماقها على أساس أن الزلازل التى تنشأ عند أعماق لا تزيد عن ٦٠ كيلو متراً من سطح الأرض تعرف بأنها زلازل ضحلة ، بينما تصنف الزلازل التى تنشأ بين (٦٠ و ٣٠٠ كم) بأنها متوسطة والزلازل التى تنشأ عند أعماق تزيد على (٣٠٠ كم) بأنها عميقة . وقد أوضحت السجلات الاهتزازية حديثا أن (٩٠٪) من الزلازل تقع عند أعماق تقل عن (١٠٠ كم) ، ويبدو أن جميع الزلازل القوية تنشأ عند أعماق ضحلة ويعرف الموقع الجغرافى الذى فوق البؤرة مباشرة على سطح الأرض باسم المركز السطحى للزلزال Epicentre .



شكل (٥) تقع بؤرة معظم الزلازل على عمق ويعرف الموقع السطحى الذى فوق البؤرة مباشرة بالمركز السطحى للزلزال .

واستكمالا لشرح آلية تراكم وتصريف الطاقة الزلزالية المختزنة فى صخور القشرة الأرضية نضيف أن عملية كسر الصخور تماثل عملية قطع سلك زنبركى معلق من أحد طرفيه . فكما أن عملية القطع تتم فى لحظة ويستمر السلك المعلق بعدها فى حالة تذبذب لعدة ثوان أو لمدة دقيقة ، كذلك الكسر الذى يصيب الصخور يتم فى لحظة ويستمر الصخر المنكسر فى تذبذبه فترة من الزمن قد تكون ثوانى قليلة أو دقائق . ورغم أن معظم الإزاحات على الفالق تحدث خلال هذه الفترة القصيرة إلا أن حركات إضافيّة وتعديلات فى الصخور تستمر لعدة أيام بعد وقوع الزلزال الرئيسى . وعادة ما تتسبب هذه التعديلات التى تحدث عقب وقوع زلزال كبير فى عدة زلازل خفيفة تسمى « التوابع » أو « الهزات اللاحقة » Aftershock ، وهى فى أغلب الأحيان أضعف بكثير من الزلزال الرئيسى ، إلا أنها تسبب فى بعض الأحيان مزيداً من الإتلاف والدمار للمنشآت التى تأثرت بالاهتزاز من قبل . هذا بالإضافة إلى أن عددًا من الهزات الخفيفة المعروفة باسم « المقدمات » أو « الهزات السابقة » Foreshock غالبا ما تسبق الزلزال الرئيسى بعدة أيام ، أو بعدة شهور ، أو بعدة سنوات فى بعض الأحيان . وقد يستفاد من رصد هذه « المقدمات » فى أغراض متابعة النشاط الزلزالى واحتمالات حدوثه مستقبلا فى منطقة ما . أما « التوابع » فتدل على تصريف الضغط الواقع على الصخور فى باطن الأرض .

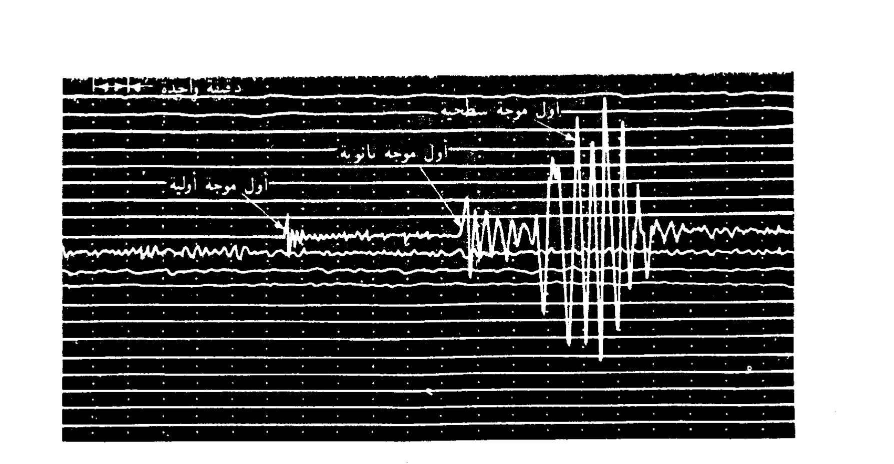
وتنقسم الموجات الزلزالية التى تنبعث من البؤرة إلى ثلاثة أنواع رئيسية هى :

١ ـ الموجات الأولية التضاغطية Compressional primary waves ،

وهى موجات طولية تنتقل بسرعة تزيد قليلا عن (٦ كم/ث) خلال الأرض بنفس الطريقة تقريبا التى تنتقل بها موجات الصوت خلال الهواء ، أى أنها تدفع الصخور وتجذبها (أى تحركها حركة تذبذبية) فى اتجاه انتشارها . وتتميز هذه الموجات بقدرتها على الانتقال خلال المواد السائلة والصلبة .

٢ ـ الموجات الثانوية المستعرضة Secondary shear waves ،

وهى تنتشر بسرعة أقل من سرعة الموجات الأولية (٣ ـ ٤ كم/ث) وتهز حبيبات الصخور (أو جسيمات الوسط الذى تنتقل خلاله) فى اتجاه عمودى على اتجاه حركتها وأهم خصائص هذا النوع من الموجات أنها تنتقل خلال الأوساط الصلبة ولا يمكنها الانتقال خلال السوائل .



شكل (٦) سجل اهتزازى نموذجى . لاحظ الفترة الزمنية بين وصول كل نوع من الموجات .

٣ ـ الموجات السطحية Surface waves ، وهى أبطأ الموجات الزلزالية وأكثرها تعقيداً ، وتنتشر فقط عبر الطبقات الخارجية على طول سطح الأرض بحركة تشبه حركة أجزاء الماء المتموج . ويحدث أثناء انتقالها عبر سطح الأرض أن تحركه وتحرك كل ما فوقه بنفس الطريقة التى تقذف بها أمواج المحيط العاتية سفينة فوق سطح الماء . فبالإضافة إلى حركة الموجات السطحية إلى أعلى وإلى أسفل ، تتحرك أيضاً من جانب إلى آخر ، وهذا يجعلها مسئولة عن الدمار الشديد الذى يلحق بالمبانى والمنشآت .

وقد أثبتت الدراسات التجريبية أن سرعة الموجات الزلزالية تتوقف على كثافة ومرونة المواد التى تخترقها ، حيث تنتقل الاهتزازات أسرع خلال المواد الصماء المتماسكة . وخلال الطبقة الواحدة ، تزداد سرعة الموجات الزلزالية عادة بازدياد العمق ، حيث يعمل ازدياد الضغط على كبس الصخور إلى مادة أكثر تماسكًا ومرونة . كذلك لوحظ وجود فروق فى سعة Amplitude (أى مقدار ارتفاع) هذه الموجات ، فللموجات الأولية سعة أقل قليلا من سعة الموجات الثانوية ، بينما تتصف الموجات السطحية بأن كلا من سعتها وطولها الموجى (أى المسافة بين قمتين متتاليتين) أكبر . وتحتفظ الموجات السطحية بأقصى سعتها لمدة أطول نظرًا لأنها محدودة فى مساحة ضيقة قرب السطح ولا تنتشر

عبر الكرة الأرضية كما هو الحال بالنسبة لموجات النوعين الآخرين ، وهذا يعنى أنها تحتفظ بأقصى طاقتها لمدة أطول فى إحداث الدمار على سطح الأرض .

وقد أفاد العلم الحديث كثيرا من معرفة خصائص الموجات الزلزالية فى تحديد مواقع الزلازل وشدتها ، وأيضًا فى سبْر أعماق الأرض ورسم صورة دقيقة لنطاقاتها الأساسية(١٩) .

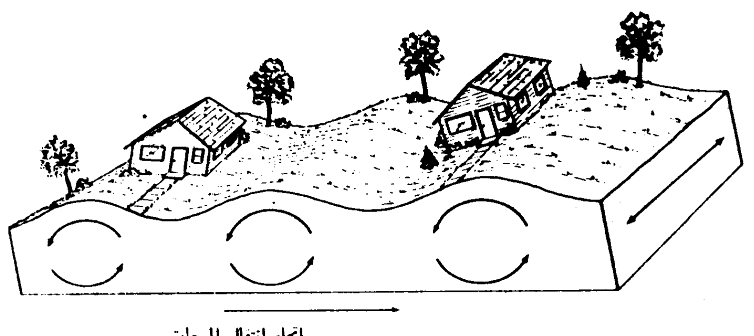
---

(١٩) لمعرفة المزيد من التفاصيل حول خصائص الاهتزازات الأرضية وأوجه الإفادة الكاملة منها يمكن الرجوع إلى :

ـ تاربوك ولوتجنز ، الأرض . مقدمة للجيولوجيا الطبيعية ، مرجع سابق .

— L. Turcotte and G. Schubert, Geodynamics, John Wiley, New York, 1982.

— F.W. Dobbs , A. Forslev and R.L. Gilbert , The Physical Sciences , Allyn and Bacon , Jnc., Boston , 1972.



شكل (٧) تتألف الموجات السطحية من نوعين من الحركات أحدها ينتج حركة معقدة إلى فوق وإلى تحت شبيه بتموجات مياه المحيطات والأخرى تضرب فى الأرض من جانب إلى جانب أو أن يكون لها حركة رأسية .

أجهزة رصـد الزلازل :

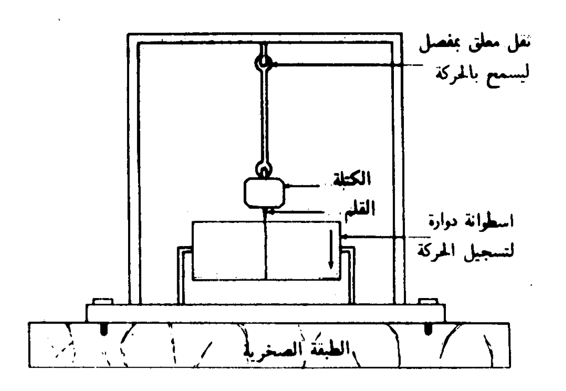
توجد الآن أجهزة حساسة لرصد أضعف الهزات الأرضية وتسجيلها ، تسمى «المرجفات» أو «مُسجِّلات الزلازل» (السيزموجراف) **Seismograph** . والمرجفة فى أبسط صورها عبارة عن كتلة معلقة فى حامل مثبت بالأرض ، وعندما تصل الاهتزازات الزلزالية إليها فإن القصور الذّاتى للكتلة يعمل على إبقائها ساكنة بينما تتحرك الأرض مع الحامل[٢٠] . ويتم تسجيل حركة الأرض بالنسبة للكتلة على قرص دوّار أو على شريط ممغنط يُدار آليًا . ونظراً لأن الزلزال يُحدث حركات رأسية وأخرى أفقية ، فإنه يلزم استعمال أكثر من نوع من المراجف ، وعادة ما يستخدم جهازان لقياس الحركات الأفقية : أحدهما فى اتجاه شمال ـ جنوب ، والآخر فى اتجاه شرق ـ غرب .

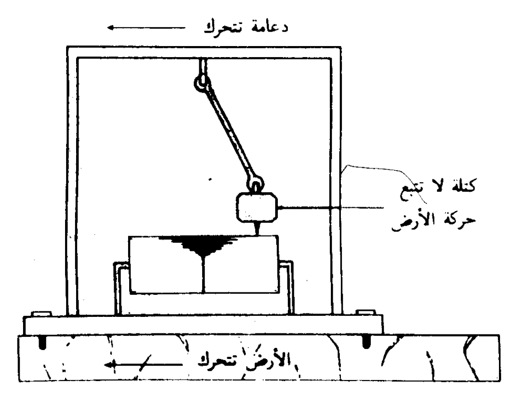
---

(٢٠) القصور الذاتى هو خاصية ميل جميع الأجسام المادية إلى الاستمرار فى حالتها من حيث السكون أو الحركة بسرعة منتظمة ما لم تؤثر عليها قوة تغير من حالتها . ونحن نلمس آثار هذه الخاصية كثيراً فى حياتنا اليومية ، فراكب السيارة مثلا يندفع نحو الأمام عندما تقف السيارة فجأة لأن جسمه يميل إلى الاستمرار فى الحركة التى كان عليها مع السيارة . وعندما يتوقف وتتحرك السيارة فجأة فإنه يرتد فى مقعده إلى الخلف لأن جسمه لا يريد أن يبدأ فى الحركة . وفى جهاز «السيزموجراف» يظل الثقل ثابتاً بينما تتحرك تحت إبرته اسطوانة الورق مع اهتزاز الأرض وينتج لدينا سجل اهتزازى **Seismogram** للموجات الزلزالية .

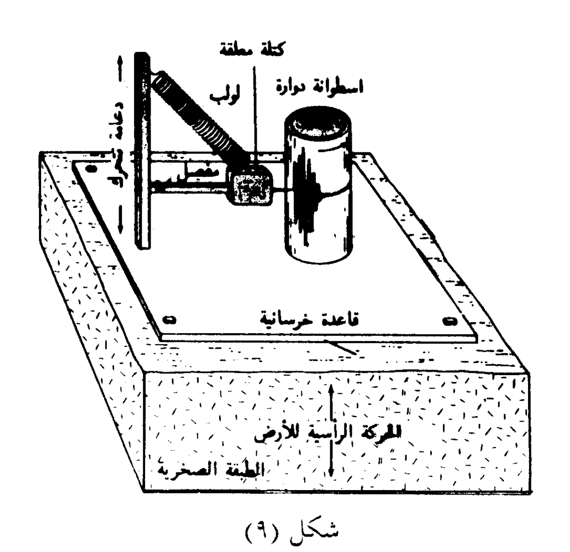
والواقع أن المرجفة ، أو جهاز « السيزمواجراف » ، أكثر تعقيداً مما وصفناه به . فهناك مثلا وسائل خاصة لإزالة أثر اهتزاز الكتلة المعلقة ، بالإضافة إلى تزويد المرجفات بوسائل أخرى لتضخيم الحركة الحقيقية لسطح الأرض حتى يتم الكشف عن الزلازل القريبة الضعيفة جداً أو الزلازل القوية التى تحدث فى أماكن بعيدة عن مكان الرصد . وهناك أجهزة أخرى يتم تصميمها بحيث لا تتأثر بالضوضاء الطبيعية أو الحركات غير المرغوب فيها التى تحدث قرب مصدر الزلزال . بل إن بعض أجهزة الرصد الحديثة تستخدم شعاعاً ضوئياً للتسجيل بدلًا من الإبرة أو الراسم الذى يخط اهتزازات الأرض . وفى مثل هذه الأجهزة ينعكس الضوء على ورقة تصوير (فيلم حساس) من مرآة معلقة بدقة ، ولا يستطيع عالم الزلازل بطبيعة الحال أن يعلم بوقوع زلزال فى أحد الأماكن النائية إلا بعد أن يرفع ذلك « الفيلم » الحساس ويقوم بتحميضه .

وتزودنا التسجيلات التى تمدنا بها أجيال المراجف بمعلومات كثيرة تتعلق بشكل الموجات الزلزالية ، ويفاد منها فى إثراء الدراسات والأبحاث الخاصة بطبيعة التحركات الأرضية : السطحية والداخلية على حد سواء .





مبدأ عمل المرجفة ــ تعمل قوة القصور الذاتى للكتلة المعلقة على بقائها ساكنة بينما تهتز اسطوانة التسجيل المثبتة إلى الصخور تحتها استجابة للموجات الإهتزازية . وبذلك تعمل الكتلة الثابتة عمل المرجع الذى يمكن بواسطته قياس مقدار الإزاحة الناتجة عندما تمر الموجات الزلزلية بالصخور تحتها .



شكل (٩)

مرجفة مصممة لتسجيل الحركة الرأسية للأرض

من ناحية أخرى ، استحدثت أجهزة خاصة ذاتية التعويم لرصد الزلازل وتسجيلها عند قيعان البحار والمحيطات . فقد كان الاستدلال على زلازل الأعماق البحرية يتم حتى وقت قريب بما تسجله أجهزة اليابسة الموضوعة على الشواطىء والتى غالباً ماتكون بعيدة جداً عن بؤرة الزلازل . ولتصحيح هذا الوضع الذى يؤدى إلى ضياع معلومات هامة كان لابد من استحداث مرجفات مباشرة على قاع البحر . وأبسط أنواع هذه المرجفات تصلح لأغراض المراقبة القصيرة ويتم إنزالها إلى العمق من ظهر سفينة بمساعدة رافعة ، وتربط النهاية الحرة لها إلى عوامة طافية على سطح الماء لكى تدل على الجهاز عندما يراد رفعه إلى سطح السفينة بعد انتهاء القياس . وبالنسبة للأرصاد طويلة الأمد يكون من المناسب أكثر استخدام مرجفات ذاتية التعويم ، يجرى رميها فى الماء ، وبعد انتهاء عملها على القاع يعوم الجهاز تلقائياً على سطح الماء ، إما حسب البرنامج الموضوع فيه ، أو بعد إطلاق إشارة معينة باستخدام الأمواج الصوتية تحت الماء . وأهم مايميز هذه المرجفات هو أنها تسمح بتسجيل الهزات الأرضية حتى الضعيفة جداً التى لايمكن تسجيلها على اليابسة ؛ نظراً لأن مستوى الضوضاء الطبيعية عند قاع البحر منخفض جداً .

ومن الجدير بالذكر أن أجهزة « السيزموجراف » ذاتية التعويم التى تستخدم للأعماق القاعية قد مكّنت العلماء مؤخراً

من تحقيق اكتشافات علمية هامة فى منطقة البحر الأبيض المتوسط ودلت على أن قشرة هذا البحر تتسم بنشاط زلزالى عالٍ ، على الرغم من أن هذه المنطقة سبق أن درست من قبل ، ولكن باستخدام (تقنيات) قديمة . فقد جاء فى أحد التقارير العلمية أن المرجفات ذاتية التعويم الموجودة على عمق (١١٠٠ – ١٨٠٠ متر) فى بحر إيجه إلى الشمال الشرقى من جزيرة كريت قد سجلت (٤٢٠) هزة أرضية خلال ثمانية أيام ، القليل منها كان قوياً وحدث فى المحيط الهادى . أما أكثرها فكان محلياً وضئيلًا فى قوته ، وقد تم تحديد بؤرة (١٣٠) هزة محلية . وخلال نفس الفترة الزمنية كانت شبكة الرصد الزلزالية اليونانية الحديثة قد سجلت هزتين أرضيتين فقط فى دائرة قطرها (٢٥٠ كم) من مركز الزلزال . وباستخدام تسجيلات أكثر دقة بعد ذلك ، وُجدت آثار لخمسين هزة أخرى .

أضف إلى ذلك أن مراجف الأعماق القاعية أظهرت أن الأغلبية الساحقة (٧٥٪) من البؤر الزلزالية التى سجلتها توجد عن أعماق من (٢ : ٢٥ كم) فى القشرة الأرضية ، بينما كان يعتقد فى السابق ، استنادا للتسجيلات التى تمت فى المحطات الأرضية لسنين طويلة أن مركز نشوء الزلازل يوجد فى الغالب على عمق (٣٠–٦٠ كم) أو أكثر ، أى : فى منطقة الوشاح .

وهكذا تبين أن المرجفات التى رصدت النشاط الزلزالى لبحر إيجه من الشاطىء لم تسجل الصورة الحقيقية[٢١] .

القياسات الزلزالية :

يلجأ العلماء إلى التعبير عن خصائص الزلازل بكمياتها وذلك بتحديد مصدر الزلزال وشدته ومقدار قوّته ، كما أنهم يجتهدون ــ بالنسبة لزمانه ــ فى تحديد احتمالات حدوثه .

١ ــ تحديد مصدر الزلزال :

أمكن الإفادة من خصائص الموجات الزلزالية فى تحديد موقع المركز السطحى للزلزال بمعلومية الفرق بين سرعتى الموجات الأولية والموجات الثانوية . فكلما كان الفرق كبيراً بين زمن وصول الموجات الأولية والموجات الثانوية كلما زادت المسافة الفاصلة بين المركز السطحى للزلزال وموقع المرجفة التى سجلته . ويمكن تشبيه المبدأ المطبق فى هذه الطريقة بحالة سباق بين سيارتين ، إحداهما أسرع من الأخرى ، وكلما زادت مسافة

---

(٢١) راجع فى ذلك ما كتبه س. سولوفيف تحت عنوان «نبض البحر الأبيض المتوسط» فى العدد التاسع من مجلة العلم والحياة الروسية (١٩٨٨) . أنظر الترجمة العربية لهذا المقال فى مجلة الثقافة العالمية ، الكويت ، عدد ٤٨ (١٩٨٩) . وتجدر الإشارة من جانبنا إلى أن متابعة دراسة هذه الظاهرة والظواهر الأخرى المشابهة ، بل والمشاركة فيها بجدية ، أمر فى غاية الأهمية لدراسة تكتونية المناطق المطلة على البحر المتوسط ، بما فيها مصر .

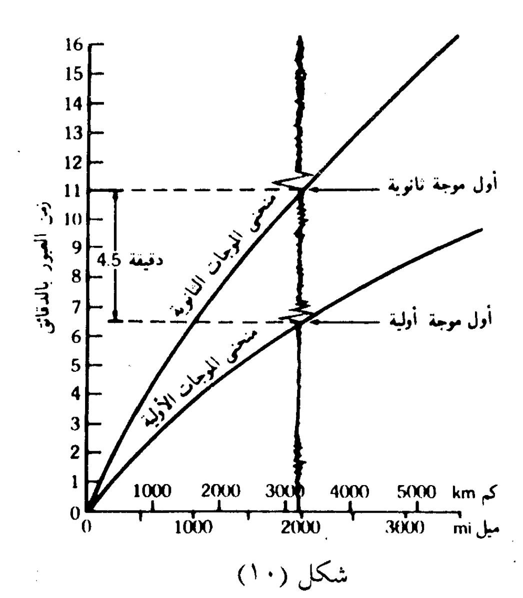
السباق زاد الفرق فى زمن الوصول عند نهاية السباق . كما يمكن تشبيهه بما يحدث فى حالة البرق والرعد . فنحن نبصر البرق أولا ثم نسمع الرعد بعد ذلك ، وهذا يرجع إلى أن الضوء ينتقل بسرعة أكبر مليون مرة تقريباً من سرعة الصوت ، فإذا استغرق وصول الرعد فترة طويلة بعد البرق فإن مصدرهما يكون بعيداً ، أما إذا كانت تفصلهما فترة زمنية وجيزة فإن مصدرهما يكون قريباً .

ويستعان فى هذه الطريقة برسم منحنيات بيانية مرجعية لأزمنة وصول الموجات الأولية والثانوية الصادرة من زلازل معروفة المصدر . وقد أمكن تحسين هذه المنحنيات المرجعية حديثاً بعد الحصول على سجلات اهتزازية من تفجيرات نووية مكانها وزمانها معروفان مسبقاً بدقة عالية .

ولما كانت الموجات الزلزالية تنطلق من البؤرة وتنتشر فى جميع الاتجاهات فإنه يلزم ثلاث مرجفات (محطات أو أجهزة رصد) مختلفة على الأقل ، ولا تقع على خط واحد ، لكى يتم تحديد موقع الزلزال بدقة عند نقطة تقاطع الدوائر التى يمثل نصف قطر كل منها بُعد المركز السطحى عن هذه المحطات . وقد تطورت هذه الطريقة كثيراً فى العصر الحاضر باستعمال شبكات رصد واسعة لتحديد المركز السطحى للزلزال بواسطة حاسبات الكترونية سريعة عن طريق المحاولة والخطأ .

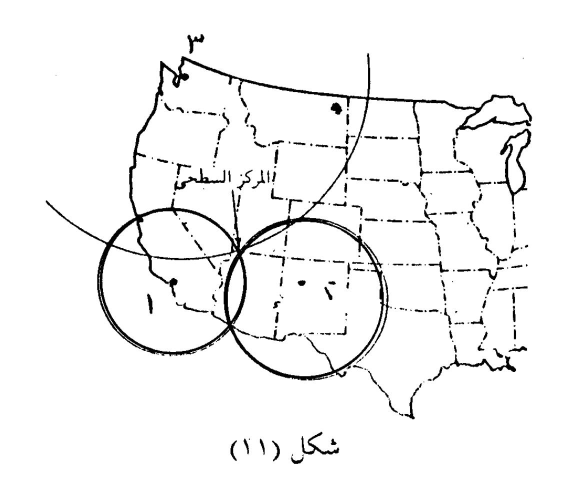
٢ ـ تحديد شدة الزلازل ومقدار قوتها :

ظلت محاولات الإنسان لتقدير شدة الزلازل حتى أوائل القرن الحالى تعتمد على وصف الحادثة ذاتها ، ثم استحدث العالم جوذيبى ميركاللى Mercall سنة ١٩٠٢م مقياساً لشدة الزلازل يعتمد على حجم الدمار الذى يلحق بأنواع مختلفة من هياكل المبانى . وطبقا (لمقياس ميركاللى) الذى يستعمل فى عدد من دول العالم ، تُقَسّم شدة الزلازل إلى ١٢ درجة ، وتعتبر الهزات التى تقل شدتها عن خمس درجات هزات ضعيفة ، بينما تكون الهزات متوسطة الشدة إذا كانت درجاتها بين (٥-٨) أما الزلازل التى تحدث دماراً كبيراً جداً فتبدأ درجاتها من (٠٩) .



شكل (١٠)

يستعمل رسم زمن العبور لتحديد بعد المركز السطحى للزلزال ، والفرق بين زمنى الوصول لأول موجة أولية (و) وأول موجة ثانوية (ث) يساوى 4.5 دقيقة فى هذا الرسم . وبذلك يكون بعد المركز السطحى 3200 كيلو متر تقريبا .



شكل (١١)

يتحدد موقع المركز السطحى للزلزال باستعمال الأبعاد الثلاثة التى أمكن الحصول عليها من ثلاثة محطات زلزالية .

ويؤخذ على مقياس ميركاللى أن كمية الدمار التى اعتمدها أساساً لتقدير شدة الزلازل لاتُعدّ وسيلة ملائمة للمقارنة ، فهناك عدة عوامل تسبب تفاوتا فى مقدار الضرر الذى يلحق بالمنشآت ، من بينها بُعد المركز السطحى للزلزال ، ومدى جودة تصميم المبانى ، وطبيعة المواد التى تتكون منها الطبقة السطحية لقشرة الأرض فى منطقة الزلزال ، هذا بالإضافة إلى أن نسبة كثيرة من الزلازل لا تقع فى المناطق المأهولة بالسكان والعمران فى العالم .

أدى هذا إلى استحداث مقياس آخر لتحديد حجم الزلزال عن طريق قوّته ، والقوة من الناحية العملية لها علاقة بكمية الطاقة المحررة أثناء الهزات الأرضية فى صورة موجات زلزالية . وقد حاول تشارلز ريشتر Richter فى (سنة ١٩٣٥م) أن يضع مقياساً لتصنيف الزلازل بحسب قوتها ، ويستعمل اليوم (مقياس ريشتر) المعدل الذى يصنف الهزات الأرضية إلى :

زلازل ضعيفة تتراوح درجتها بين (١و٣) وتحدث بمعدل حوالى مليون زلزال سنويا ، ولكن الإنسان لا يشعر بها عادة .

وزلازل متوسطة تتراوح درجتها بين (٤و٥) وتحدث دماراً طفيفا للمنشآت .

أما الزلازل التى يصاحبها دمار شديد لكل المواقع المأهولة القريبة فإن درجتها تزيد عن ٨ على مقياس ريشتر ، وهذا يعادل طاقة أكثر من (١٢٥٠ قنبلة ذرية) كالتى ألقيت على هيروشيما ، وقد يفسر العلماء مثل هذه القوة الزلزالية عمليا بحدوث صدع على امتداد فالق مساحته (١٠٠ × ١٠٠) من الكيلو مترات ، وإزاحية سطحية فى القشرة الأرضية تساوى (٤ أمتار) . لكن احتمالية حدوث مثل هذه الزلازل ـ عالمياً ـ ضعيل جداً ويقدر بمرة واحدة كل (٥ ـ ١٠) سنوات . ويبدو أنه لم يقع حتى الآن أى زلزال تزيد قوته عن ٩ درجات بمقياس ريشتر .

ويؤخذ على مقياس ريشتر أنه لا يفرق بوضوح بين الزلازل المتقاربة فى القوة ، حيث إن زيادة وحدة واحدة على هذا المقياس يقابلها زيادة فى الطاقة الزلزالية المحررة قدرها حوالى ثلاثين ضعفا . أى أن الزلزال الذى قوته تعادل (٨) وحدات يطلق طاقة أكبر ثلاثين مرة من طاقة زلزال قوته تعادل (٧) وحدات ، وأكبر تسعمائة مرة من طاقة زلزال قوته تعادل (٦) وحدات ، وأكبر ملايين المرات من أصغر زلزال يشعر به الإنسان[٢٢] .

---

(٢٢) واضح أن مقياس ريشتر لا يفرق بدقة بين الزلازل العنيفة لأن سعات موجاتها متساوية تقريباً ، وقد اقترح مؤخراً طرق لتعديل المقياس والتغلب على درجة تشبعه فى هذا المستوى بحيث يستطيع قياس قوة الزلازل بدقة . ويمكن بناء على هذا التعديل أن تزداد وحدات المقياس قليلا عن ٩ وحدات .

ويوضح الجدول التالى عدداً من الزلازل القوية التى حدثت فى أماكن مختلفة من العالم :

موقع الزلزال	سنة حدوثه	قوته	عددالضحايا	ملاحظات
شينسى ، الصين	١٥٥٦	—	٨٣٠٠٠٠	
سان فرنسيسكو (كاليفورنيا)	١٩٠٦	٨,٢٥	٧٠٠	سببت الحرائق دماراً كبيراً
مسينا ، إيطاليا	١٩٠٨	٧,٥	١٢٠٠٠٠	
طوكيو ، اليابان	١٩٢٣	٨,٢	١٥٠٠٠٠	سببت الحرائق دماراً كبيراً
جنوب شيلى	١٩٦٠	٨,٥–٨,٧	٥٧٠٠	ربما يكون أقوى
ألاسكا	١٩٦٤	٨,٤–٨,٦	١٣١	زلزال تم تسجيله
تانجشان ، الصين	١٩٧٦	٧,٦	٦٥٥٠٠٠	حتى الآن
الأصنام ، الجزائر	١٩٨٠	٧,٣	٣٥٠٠	
سبيتاك ، أرمينيا	١٩٨٨	٦,٨	٢٥٠٠٠	

٣ ـ توقّع حدوث الزلزال :

هنا نفضل استخدام كلمة «توقع» وليس كلمة «تنبؤ» التى تشيع كثيراً على ألسنة الناس ، فعندما تكون الأسباب كونية إلهية يكون مستقبل الظواهر من الأمور الغيبية التى فى علم الله

ـ وحده ـ ﴿ عَٰلِمُ ٱلۡغَيۡبِ فَلَا يُظۡهِرُ عَلَىٰ غَيۡبِهِۦٓ أَحَدًا ﴾[23] ، ويكون العلم البشرى محدودا بحدود ما عرف الإنسان حقاً من نواميس الكون وأحكامه ، ﴿ وَلَا يُحِيطُونَ بِشَيۡءٖ مِّنۡ عِلۡمِهِۦٓ إِلَّا بِمَا شَآءَ﴾[24] . ومن ثم ؛ فإن ما يقول به العلماء عن المستقبل هو فى حقيقة الأمر ضرب من التوقعات العلمية التى تتمشى مع قوانين الله ـ تعالى ـ فى الكون ولا تتعارض مع قواعدها . فإذا توقع الطبيب مثلا أن يموت مريض بالسرطان بعد عدة أشهر ، أو أن يموت آخر أصيب بنزيف فى المخ ولا سبيل إلى وقف نزيفه ، فإن توقعه هذا يرجع احتمالًا لا يتعارض مع الشرائع البيولوجية ، وبقدر ما ينشأ التوقع من حصيلة الحقائق التى تتجمع لدينا بقدر ما يكون تحقيقه أكثر احتمالا وأسهل منالا[25] .

وبالنسبة لظاهرة الزلازل فإن العلم البشرى لم يستطع حتى الآن أن يقول شيئاً محدداً بشأن التحديد الدقيق لزمان ومكان حدوثها سلفاً ، إذ أن كل الدراسات التى يجريها الباحثون على العمليات والتراكيب الداخلية لاتزال تعتمد على الأرصاد غير المباشرة .

---

(٢٣) سورة الجن : ٢٦ .

(٢٤) سورة البقرة : ٢٥٥ .

(٢٥) راجع فى ذلك : د. عبدالمحسن صالح ، التنبؤ العلمى مستقبل الإنسان ، دار الشروق ، القاهرة ، ١٤٠٩ هـ ـ ١٩٨٩ م .

وعندما نقارن جهد الإنسان المبذول لسبر أعماق الأرض عن طريق الحفر ، مقارنة بما أنجزه فى مجال ارتياد الفضاء ، نجد أنه لم يتمكن إلا من حفر عدة كيلو مترات حتى الآن .

وإذا اعتبرنا النشاط البركانى نافذة نطل منها على باطن الأرض من خلال المواد التى تقذفها البراكين إلى السطح ؛ فإن هذا النشاط لا يسمح إلا باطلاع محدود ـ فى حدود المائتى كيلو متر الخارجية من الغلاف الصخرى ـ وهذا لا يشكل إلا جزءًا صغيراً من نصف قطر الأرض البالغ (٦٣٧٠) كيلو متر تقريباً .

وإذا كان العلم البشرى قد أحرز تقدماً فى فهم ظاهرة الزلازل فإن هذا التقدم مُوجَّهٌ إلى معرفة التوزيع الدقيق لبؤر الزلازل فى العالم باستخدام أجيال متقدمة من أجهزة « السيزمو-جراف » ذات الحساسية الفائقة . كما أن (تقنيات) الفضاء المتقدمة فى عصرنا قد ساهمت فى تطوير معرفتنا عن أعماق باطن الأرض ، ومراقبة تحركات القشرة الأرضية ، وكل ما تفعله هذه (التقنيات) هو أنها تساعد على : مجرد تحديد قوة الزلزال ، وعمقه ، وبعد مركزه السطحى بعد حدوثه ، وفى ضوء التسجيلات الزلزالية المتاحة .

ويعتبر العلماء أن نجاح التوقع بحدوث زلزال قوى فى إقليم (هايشنج) بالصين قبل ساعات فقط من وقوعه فى فبراير عام ١٩٧٥م كان رمية من غير رام . فمثل هذا التوقع لم يتحقق بالنسبة للزلزال الشديد الذى حدث فى (تانجشان) بالصين فى

العام التالى ، وراح ضحيته (٦٥٠٠٠٠) نسمة فقدوا حياتهم و(٧٨٠٠٠٠) نسمة أصيبوا بجراح بسبب التدمير اللحظى للمنازل ، كما حدثت فى الصين أيضا تحذيرات خاطئة من زلازل لم تحدث ، وأصبح الناس يقارنون بين أعباء إخلاء المساكن لمدة قد تزيد عن شهر أو شهرين وبين الاحتمال المنتظر لوقوع زلزال ، قد يأتى وقد لا يأتى .

حصيلة علمية مفيدة :

لكن هذا كله لم يمنع الإنسان عبر القرون من تكوين حصيلة مفيدة من المعلومات عن عدد من الظواهر والمؤشرات التى تسبق حدوث الزلازل فى أماكن مختلفة من العالم :

فقد وجد فى ولاية كاليفورنيا أن الزلازل المتوسطة يسبقها رفع أو هبوط فى الأرض .

وتغير فى معدل الحركات لنطاق الصدوع ، من زحف بطىء إلى توقف كامل .

كما لوحظ فى مدينة «دنفر» بأمريكا أن عدد مرات حدوث الهزات الخفيفة يرتبط بكمية المياه التى تحقن فى الأرض خلال الآبار العميقة ، إذ تعمل هذه المياه تحت ضغط على تسليك الصدوع المجاورة ، وبالتالى تمنع تخزين كميات كبيرة من الطاقة فى الأرض ، وتؤدى إلى تحريرها من خلال هزات صغيرة بدلا من تصريفها دفعة واحدة فى صورة زلازل عنيفة .

وفى طشقند تتبع العلماء غاز «الرادون» فى الآبار قبل زلزال سنة ١٩٦٦م ، و(الرادون): عبارة عن غاز خامل ينتج عن التحلل الإشعاعى لعنصر الراديوم الذى يوجد بمقادير نادرة فى بعض الصخور ، وعادة ما يبقى هذا الغاز محبوساً داخل الصخور إلى أن تسمح التشققات الناشئة بهروبه بعد تراكم الضغط فيها .

وقبل حدوث الزلزال تحدث عدة تغيرات فى خصائص التربة ، يمكن استخدامها كمؤشرات له . فالصدوع والشقوق تتفتح وتتمدد ، وينتج عن هذا تغيّر فى شكل التركيبات الأرضية لمسافات كبيرة .

كذلك لاحظ العلماء اليونانيون تغيرات شديدة فى الخصائص الكهربية والمغناطيسية للتربة خلال الفترة التى تسبق حدوث الزلزال .

من ناحية أخرى ، نشر اليابانيون شبكة واسعة من أجهزة «السيزموجراف» تمتد أكثر من ٢٠٠ كيلو متر فى قاع المحيط ، حيث تقل الضوضاء الطبيعية ، ويكون بالإمكان مراقبة «المقدمات» الزلزالية التى تسبق حدوث الزلزال الرئيسى . وهناك ــ أيضاً ــ من يحاول أن يفيد من قياس مدى تغير ملوحة ومستوى المياه الجوفية .

وعموماً ، لم يكن بالإمكان حتى الآن تأكيد أية علاقة يقينية بين حدوث الزلازل وهذه المؤشرات[٢٦] .

إن معظم الزلازل تقع تحت سطح البحار والمحيطات التى تغطى أربعة أخماس سطح الكرة الأرضية تقريباً ، ولا يستطيع الإنسان إلا فى أحوال قليلة أن يعرف ماذا يحدث للقشرة عندما تتزلزل الأرض ، وكل مايستطيعه هو مشاهدة ما يحدث على السطح ، ثم استخدامه فى الاستدلال على احتمال مايحدث فى الباطن .

---

(٢٦) من المقولات التى تُردد كثيراً أن بعض أنواع الحيوانات والزواحف والطيور والأسماك ينتابها حالة من الفزع والهياج قبل حدوث الزلازل نظرًا لما تتمتع به من حساسية فائقة للموجات الزلزالية ، ويحاول البعض أن يتخذ من هذا أيضاً مؤشرًا للتعرف على قرب حدوث هزات أرضية .

الفصل الرابع

أخطار الزلازل ونواشدها

الفصـــــل الرابع

أخطار الزلازل وفوائدها

تعتمد كمية الدمار التى تصاحب أى زلزال على عوامل كثيرة منها : قوة الزلزال ، ومدّته ، وقربه من المناطق المأهولة . ومن حسن الحظ أن الزلازل القوية والعنيفة نادرة الحدوث ، كما أن معظم الزلازل تتكون من هزات تدوم لثوانى معدودات ، والنادر منها قد يستغرق بضع دقائق . وأثناء حدوث أى زلزال ، تشهد المنطقة الواقعة فى حدود (٢٠ – ٥٠) كيلومتر من مكان الصدع نفس الدرجة تقريبا من اهتزاز الأرض ، ويتناقص الاهتزاز بسرعة فى المناطق الأبعد من ذلك . وتؤدى طبيعة مواد القشرة الأرضية فى منطقة الزلزال دورًا مؤثرًا فى حدوث الدمار ، حيث تعمل الرواسب غير المتماسكة على تضخيم الاهتزازات إلى درجة أكبر مقارنة بالطبقات الصخرية المتماسكة . وقد تسبب الاهتزازات الأرضية المضخّمة ارتطام المياه فى البحيرات والخزانات والأحواض المغلقة ، وربما يكون لها أسوأ الأثر عندما ترتطم بجدران الخزانات وتضعف تماسك هيكلها ، وبذلك تهدد حياة السكان القاطنين فى الوادى أسفل تلك الخزانات .

وترتبط الآثار المدمرة للزلازل أساسًا بما تسببه للمنشآت التى أقامها الإنسان مثل المبانى والجسور (والقناطر) والسدود ومحطات القوى والأبراج والمآذن وغيرها . ويعتبر إنهيار المبانى مثل المنازل والعمارات السكنية والمدارس والمستشفيات والمتاجر أهم أثر مباشر يصيب الإنسان من جراء الهزات الزلزالية ، وإليه تعزى كثرة الضحايا البشرية .

ومن ناحية أخرى ، قد تقود الزلازل إلى سلسلة من التأثيرات تضاعف من كمية الدمار وعدد الضحايا وحجم الضرر الاقتصادى . ففى زلزال « سان فرانسيسكو » عام ١٩٠٦ نشأ الدمار الأكبر عن عدد كبير من الحرائق التى شبت دون سيطرة واستمرت طيلة ثلاثة أيام حتى اضطر الناس فى النهاية إلى إحداث نسف فى طريق النار بالديناميت لكى لا تكون وقودًا لها ، وأخيراً نزل الغيث فأطفأ النيران . وبرغم أن الخسارة فى الأرواح بسبب الحرائق كانت قليلة هذه المرة (حوالى ٧٠٠ شخص) ، فإنها لم تكن كذلك دائمًا . فقد تسبب زلزال اليابان سنة ١٩٢٣م فى (٢٥٠) حريقًا دمرت مدينتى « طوكيو » و « يوكوهوما » ، ونشرتها الرياح يمنة ويسرة ، وعندما انتهى الإعصار الأسود كانت الجثث المتفحمة لمائة وخمسين ألف شخص تغطى الأرض . وقد حركت هذه المأساة وجدان أمير الشعراء أحمد شوقى فوصفها بقصيدة رائعة مطلعها :

قف (بطوكيـو) وطُـف على (يوكاهامــــه)
وسل القريـــــتين كيــــف القيامـــــــة

دنت الساعـــة التــــى أُنــــذر النـــــاس
وحـــــلّت أشـراطهـــــــا والعلامـــــــة

وفى زلزال « ألاسكا » سنة ١٩٦٤م تولدت موجات بحرية اهتزازية ، تعرف باسم « تسونامى[٢٧] Tsunami » ، دمرت معظم المناطق السكنية المحيطة ، وامتد تأثيرها إلى معظم مناطق الشاطىء الغربى لقارة أمريكا الشمالية . ومعظم أنواع « التسونامى » تنتج عن الإزاحة الرأسية لقاع المحيطات والبحار أثناء الزلزال عبر فالق كبير . وعادة تكون هذه الموجات البحرية منخفضة جدا دون أن يشعر بها أحد ، وعند دخولها إلى المياه الشاطئية الضحلة تنخفض سرعتها ويزداد ارتفاعها إلى أكثر من ٣٠ متراً وتسبب دمارًا عظيماً يمتد مئات الكيلومترات فى السواحل الأكثر

(٢٧) كلمة « تسونامى » التى أصبح استعمالها عالمياً تعنى حرفياً « موجة كبيرة على الميناء » وهى مشتقة من كلمتين يابانيتين هما « تسو » ومعناها « ميناء » و « نامى » ومعناها « موجة » وقد كان يعتقد خطأً أن هذه الموجات المدمرة تنشأ عن تأثير المد والجزر اللين يسببهما جذب القمر أو الشمس ، لكن معظم « التسونامى » تولدها الزلازل ، وبعض أنواعها المدمرة قد تنشأ عن اندلاع البراكين ، ومن يستقرىء تاريخ الزلازل فى منطقة البحر الأبيض المتوسط لا يستبعد حدوث « التسونامى » فى بعض أجزائه ، وربما تضمنت كتب التراث الإسلامى وصفا لظواهر بحرية زلزالية حدثت فى الشام وشمال مصر يفيد منه الباحثون فى دراسة المستقبل التكتونى للمنطقة العربية والإسلامية .

ازدحاما . وأول علامات «التسونامى» عادة هو الانحسار السريع لمياه البحر بعيدًا عن الشواطىء ، فيما يعتبر تحذيرًا بقدوم موجة عارمة بعد حوالى خمس دقائق أو أكثر قليلا . ففى زلزال مسينا بإيطاليا سنة ١٩٠٨ حدث أن انحسر الماء عن الشاطىء بعيدا فى عرض البحر ، ثم عاد فجأة على صورة موجة عاتية اكتسحت كل شىء فى طريقها ، وأغرقت القرى التى كانت تبعد عن مركز الهزة بمسافة كبيرة ، وأطاحت بحياة (١٢٠) ألف شخص . وقد تأثر شاعر النيل حافظ إبراهيم بهذه الأحداث ووصفها فى قصيدة طويلة جاء فيها :

ما (لمسِّين) ؟ عوجلت فى صباهـــــا
ودعاهـــا من الـــــردى داعيـــان
ومحت تكلـــــــــم المحاسن منها
حين تمّت آيــــاتها آيتــــان
خسفت ، ثم أغـــــرقت ، ثم بادت
قضى الأمـــــر كلـــــه فى ثوانى
واتى أمرهـــــــا فأضحت كأن لم
تك بالأمس زينـــــة البلـــــدان

كذلك يصاحب الهزات الأرضية فى بعض الأحيان حدوث إنهيارات أرضية وهبوط فى سطح الأرض على غرار ما حدث فى

زلزال «ألاسكا» سنة ١٩٦٤ أيضًا عندما أحدثت سيولة مواد الدلتا إنجرافا انتقلت بسببه المواد الشاطئية فى اتجاه البحر .

التنبؤ والتأثيرات التدميرية :

وقد فرضت مثل هذه التأثيرات التدميرية على الإنسان أن لا يعلق الأمل على قضية « التنبؤ » بزلزال من أهم سماته أنه يضرب ضربته ليلا أو نهارا على حين غرة ، إنما على الإنسان أن يصرف جهده ـ بدلًا من ذلك ـ إلى اتخاذ الاستعدادات لمواجهة أخطاره ، والحد من أضراره . فها هى البلاد التى ذاقت ويلات الزلازل قد قامت بالوقاية التالية :

أنشأت مراكز للتحكم فى أنابيب الغاز .

وقطع مصادر التيار الكهربى آليا عند حدوث أى خطر .

كما أنشأت مركزاً خاصا لإطفاء الحرائق يمكنه أن يحصل الماء من أى خزان آخر ، بل يمكنه أن يملأ خراطيم الحريق من ماء النهر أو البحر .

وتنشىء بالإضافة إلى ذلك مجموعة من الخزانات الاحتياطية فى أماكن مختلفة تحت الأرض .

إن أى برنامج لتحديد موعد الزلازل قبل حدوثها ، حتى لو كان نجاحه كاملًا ، لا يمكن أن يقلل من الحاجة الماسة إلى

منشآت أكثر أمانا بحيث تخفف من حالات الانهيار الجزئى أو الكامل حتى فى حالة أقوى الزلازل المحتمل حدوثها . وهذا ما جعل التركيز على برامج الهندسة والأبحاث الزلزالية يحتل أهمية خاصة فى كثير من الدول للحماية من أخطار الزلازل(٢٨).
ومن أحدث النتائج العلمية والتقنية فى هذا المجال ما أعلنته رابطة بحوث منتجى المطاط الماليزية عن نجاحها فى إنتاج أعمدة من المطاط الطبيعى ترتكز عليها المبانى أثناء إقامتها وذلك لامتصاص الصدمات الأرضية الناتجة عن الزلازل ، وبالتالى توفير الحماية للمبنى . وليس هناك من شك فى أن تشجيع مثل هذه البحوث فى مختلف دول العالم لمواجهة الزلازل خير من الانشغال الزائد عن الحد بتصنيف سطح القشرة الأرضية إلى مناطق داخلة فى حزام الزلازل وأخرى بعيدة عنه أو فى طريقها إليه ، فقد أدرك الإنسان أن هذه الأرض التى يعيش عليها تجدد قشرتها مع مرور الزمن ، وليس بإمكانه أن يمنع الجبال من أن تنشأ ، أو الوديان من أن تغور ، ولكنه فى الوقت ذاته يستطيع أن يتعلم كيف يعيش فى سلام مع الكون الذى خلقه الله تعالى على أعلى درجة من الترتيب والنظام والجمال . فكل ما فى الكون من ظواهر ونواميس آيات

(٢٨) راجع فى ذلك مقالا مفيدًا بعنوان «الإنشاءات والعمارة المقاومة للزلازل» ، كتبه العالم الهندى «أناند آريا» ، أستاذ هندسة الزلازل بجامعة روركى **Roorkee** بالهند ، فى مجلة العلم والمجتمع ، إصدار اليونسكو ، ع ٦٧ (١٩٨٧) .

ناطقة بجلال الله وقدرته ووحدانيته ، لا يدرك حكمتها إلا أولو الألباب ﴿ ٱلَّذِينَ يَذْكُرُونَ ٱللَّهَ قِيَٰمًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِى خَلْقِ ٱلسَّمَٰوَٰتِ وَٱلْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَٰذَا بَٰطِلًا سُبْحَٰنَكَ فَقِنَا عَذَابَ ٱلنَّارِ ﴿١٩١﴾ ﴾[٢٩] .

ويجب ألا تنسينا أهوال الزلازل الفوائد العظمى التي جنتها البشرية من دراسة خواص الموجات الزلزالية والإفادة منها في سبر أغوار الأرض ومعرفة تركيبها ونطاقاتها الداخلية والكشف عن خيراتها وثرواتها . بل إن الإنسان لجأ إلى إجراء التفجيرات النووية في باطن الأرض لتكون بمثابة زلازل صناعية معلومة الزمان والمكان يستدل بموجاتها على طبيعة الصخور والطبقات المكوِّنة لمادة الكرة الأرضية . ويكفي أن نشير إلى أن أجهزة رصد الموجات الزلزالية « السيزموجراف » أصبحت من أهم وسائل الكشف عن اختيار أنسب الأماكن للتنقيب عن البترول في جوف الأرض[٣٠] .

---

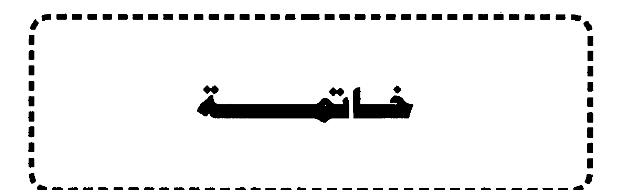
(٢٩) سورة آل عمران : ١٩١ .

(٣٠) لمعرفة المزيد عن تطبيقات علم الزلازل واستخدام «أجهزة السيزموجراف» في دراسة التركيب الداخلي للأرض والتنقيب عن ثرواتها الداخلية يمكن الرجوع إلى :

– تاربوك ولوتجنز ، الأرض . مقدمة للجيولوجيا الطبيعية ، مرجع سابق .

– فردريك هـ. بو ، كل شيء عن البراكين والزلازل ، مرجع سابق .

– ج.س. موتر ، الصور الزلزالية لحدود الألواح المكوِّنة للقشرة الأرضية ، مجلة العلوم ، الكويت ، مجلد ٥ – عدد ٦ (١٩٨٨) .


خاتمة

خاتمــة

نخلص من هذا الكتيب إلى بلورة بعض الملاحظات التى نوجزها فيما يلى :

أولًا : يشعر الإنسان بالزلازل فى صورة هزات تعترى القشرة الأرضية فى أماكن مختلفة من العالم ، وتتباين هذه الهزات فى شدتها بين الضعف والعنف ، فالهزات الضعيفة لاتزيد فى قوتها عن هزات يسببها مرور حافلة كبيرة أو قطار سريع ، وتحصى أجهزة التسجيل «السيزموجراف» منها مايزيد على مليون هزة فى السنة الواحدة . أما الهزات المتوسطة والعنيفة فإنها أقل حدوثاً بكثير ، بل يندر حدوثها فى بعض المناطق ، ولكنها عندما تضرب ضربتها على حين غرة من ليل أو نهار ، فإنها تثير الرغب والفزع ، وتقوض المبانى والمنشآت ، وتخلف وراءها آلاف الضحايا تحت الحطام والأنقاض .

ثانياً : أكثر النظريات العلمية المعاصرة قبولًا لتفسير ظاهرة الزلازل هى نظرية الصفائح (الألواح) التكتونية . وطبقاً لهذه النظرية فإن الصفائح المتحركة التى تشكل الطبقة الخارجية للأرض تتفاوت مساحتها من بضع مئات إلى عشرات الملايين من الكيلو مترات المربعة ، ولكن هذا لاينفى أن تشترك جميعها فى

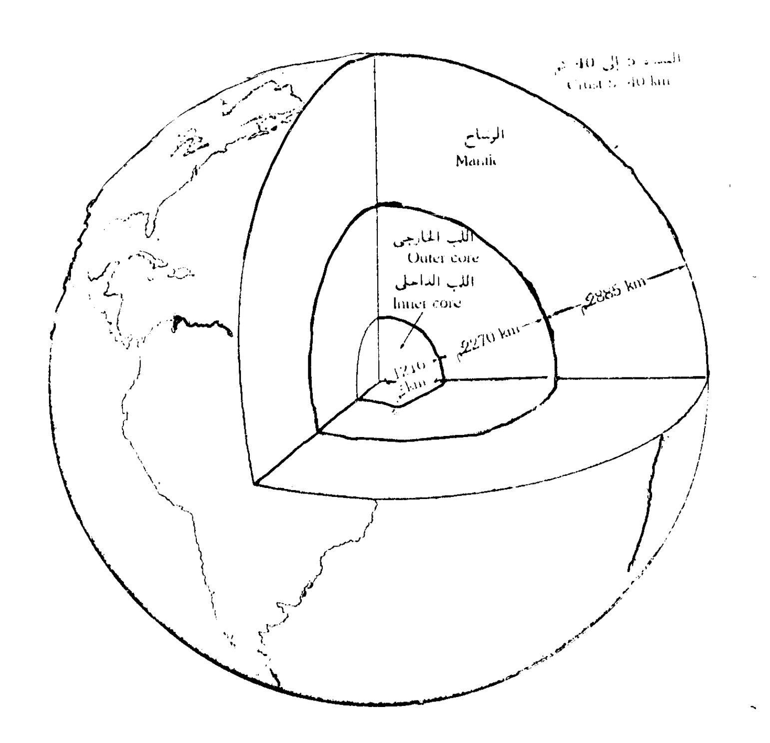
سمة هامة واحدة هى صلابة قوامها الداخلى ، ولذلك فهى تخضع لتشوهات رئيسية عند حدودها بصفة خاصة ، إذ تجرى هناك فعلًا الأحداث الجيولوجية الكبرى . فعند مواقع تصادم الصفائح تتشكل الجبال وتنشأ البراكين ، وعند مواقع تباعدها تنفتح أحواض المحيطات ويتكون قاع بحر جديد ، وفى هذين النوعين من الحدود بين الصفائح تحدث الهزات الأرضية ، كما تحدث الزلازل أيضا فى مواقع تعرف باسم «صدوع التحول» أو «الفوالق المتحولة» ، حيث ترتج الصفائح وتنزلق بعضها نحو بعض أفقياً فى اتجاهين متضادين . ولفهم آلية هذا التداخل يجب على الباحثين أن يدرسوا تشوهات القشرة الأرضية عند حدود الصفائح . لكن أكثر من ٦٠٪ من سطح الأرض مغطى بمياه المحيطات ، ومن ثم فإن معظم الحدود الصفائحية الواجب دراستها غارقة فى الأعماق بعيداً عن ملاحظات الإنسان المباشرة .

ثالثاً : يزخر التراث الإسلامى بالكثير من المؤلفات التى تؤرخ للنشاط الزلزالى فى بلدان العالم العربى والإسلامى . والرجوع إلى هذا التراث يفيد كثيراً فى دعم الجهود المبذولة حالياً لرسم خرائط توزيع الزلازل فى العالم بعامة ، وفى بلدان العالم العربى والإسلامى بخاصة . بل إن إعادة قراءة ما جاء فى وصف أسلافنا لزلازل معنية حدثت فى مصر والشام ربما يفيد كثيراً فى

فهم الحالة التكتونية لمنطقة البحر الأبيض المتوسط واحتمالات تأثر المناطق الساحلية بموجات البحز الاهتزازية «التسونامى» .

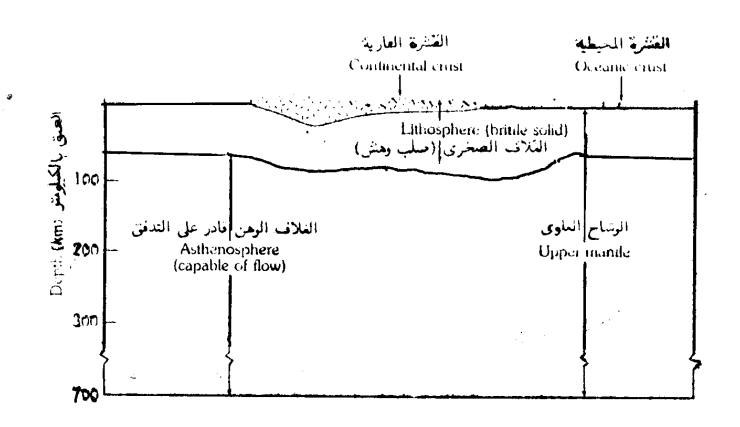
رابعاً : إن العلم لا يزال عاجزاً أمام إمكانية التحديد الدقيق لموعد ومكان وقوة الزلازل قبل حدوثها . وبالرغم من هذا فإن الأمل فى إنقاذ البشرية من أى زلزال مدمر هو الذى يدفع العلماء إلى مواصلة البحث الذى بدأه علماء الحضارة الإسلامية عن أسباب حدوث الزلازل ومحاولة التحكم فى شدتها وتخفيف آثارها المدمرة .

خرائط ورسوم
توضيحية إضافية

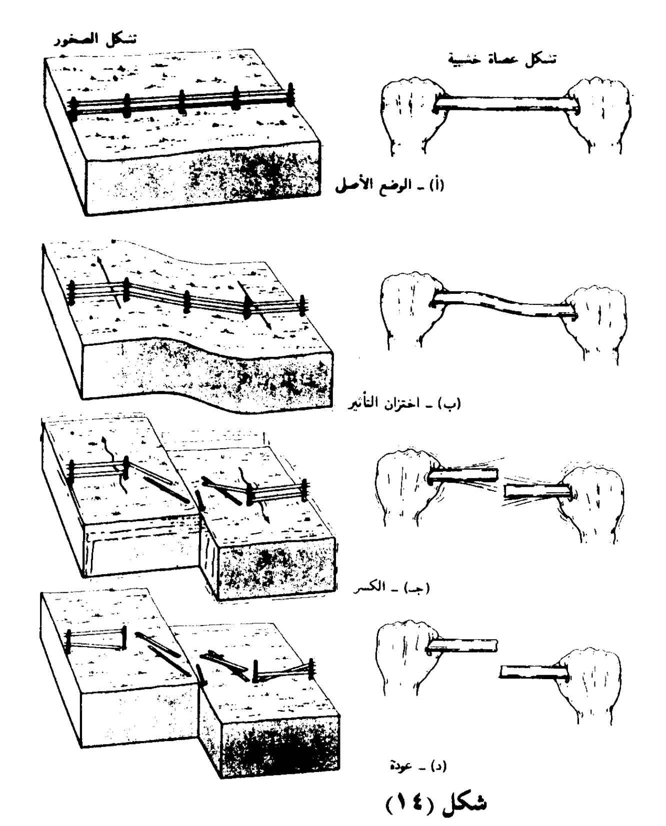


شكل (١٢)

رسم للتركيب النطاق للأرض . مُثّل كل من اللب الداخلى واللب الخارجى والوشاح بمقياس رسم واحد . بينما رسمت القشرة الأرضية بمبالغة تقدر بثلاثة أضعاف .

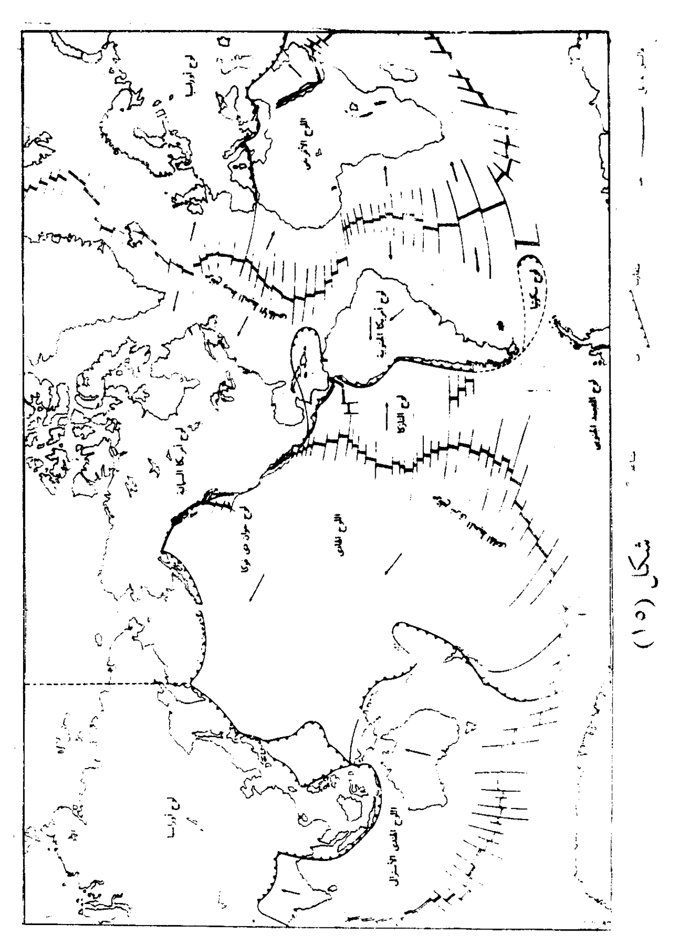


شكل (١٣)
موقع الغلاف الوَهِن من الغلاف الصخرى .



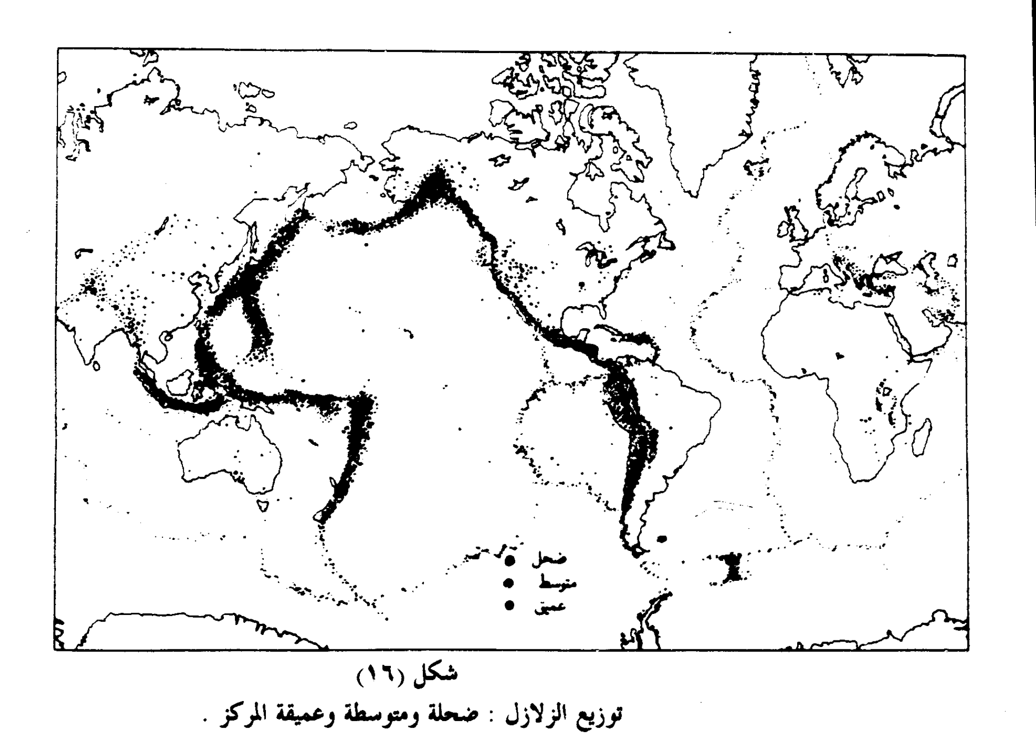
شكل (١٤)

الارتداء المطاطى ـ عندما تطوى الصخور فإنها تتقوس ، وتخزن الطاقة المطاطية ، فعندما تتأثر الصخور فوق نقطة انكسارها فإنها تتحطم محررة الطاقة المختزنة على هيئة موجات زلزالية .



شكل (١٥)

الصفائح (الألواح) الرئيسية التى تكوّن قشرة الأرض الخارجية .



شكل (١٦)

توزيع الزلازل : ضحلة ومتوسطة وعميقة المركز .

قائمة الخرائط والصور والرسوم التوضيحية

الصفحـة

شكل (١) تمثيل توضيحى للتركيب الداخلى للأرض ودرجات الحرارة المستنتجة ٢٤

شكل (٢) توزيعات الصفائح التكتونية الرئيسية ٢٨

شكل (٣) التوزيع العالمى للزلازل ٣٣

شكل (٤) انشطار شرق أفريقيا ٣٨

شكل (٥) تقع بؤرة معظم الزلازل على عمق ويعرف الموقع السطحى الذى فوق البؤرة مباشرة بالمركز السطحى للزلزال ٤١

شكل (٦) سجل اهتزازى نموذجى . لاحظ الفترة الزمنية بين وصول كل نوع من الموجات ٤٤

شكل (٧) تتألف الموجات السطحية من نوعين من الحركات أحدها ينتج حركة معقدة إلى فوق وإلى تحت شبيه بتموجات مياه المحيطات والأخرى تضرب فى الأرض من

جانب إلى جانب أو يكون لها حركة رأسية .... ٤٧ **الصفحة**

شكل (٨) مبدأ عمل المرجفة أو مسجل الزلازل (السيزموجراف) . تعمل قوة القصور الذاتى للكتلة المعلقة على بقائها ساكنة بينما تهتز اسطوانة التسجيل المثبتة إلى الصخور تحتها استجابة للموجات الاهتزازية . وبذلك تعمل الكتلة الثابتة عمل المرجع الذى يمكن بواسطته قياس مقدار الازاحة الناتجة عندما تمر الموجات الزلزالية بالصخور تحتها ٥٠

شكل (٩) مرجفة (سيزموجراف) مصممة لتسجيل الحركات الرأسية للأرض ٥١

شكل (١٠) يستعمل رسم زمن العبور لتحديد بعد المركز السطحى للزلزال . والفرق بين زمنى الوصول لأول موجة أولية وأول موجة ثانوية يساوى ٤,٥ دقيقة فى هذا الرسم ٥٧

وبذلك يكون بعد المركز السطحي
٣٢٠٠ كيلو متر تقريباً . الصفحة

شكل (١١) يتحدد موقع المركز السطحي للزلزال باستعمال الأبعاد الثلاثة التى أمكن الحصول عليها من ثلاث محطات أرصاد زلزالية ٥٨

شكل (١٢) رسم للتركيب النطاقى للأرض ٨١

شكل (١٣) موقع الغلاف الوَهِن من الغلاف الصخرى ٨٢

شكل (١٤) الارتداء المرن ـ عندما تطوى الصخور فإنها تتقوس وتخزن طاقة المرونة . فعندما تتأثر الصخور فوق نقطة انكسارها فإنها تتحطم وتطلق الطاقة المختزنة على هيئة موجات زلزالية ٨٣

شكل (١٥) الصفائح (الألواح) الرئيسية التى تكوّن قشرة الأرض الخارجية ٨٤

شكل (١٦) توزيع الزلازل الضحلة والمتوسطة وعميقة المركز (البؤرة) ٨٥

(*) عن تاربوك ولوتجنز ، مرجع سابق .

معجم المصطلحات (*)

ارتجاف ـ رجفة Tremor : زلزال منخفض الشدة ، أو حركة ذبذبية سريعة ، ويطلق المصطلح على كل اهتزاز ضعيف ينتاب القشرة الأرضية .

استكشاف بطريقة الزلزلة : Seismic Method of exploration البحث عن الخامات المعدنية والبنيات الجيولوجية تحت سطح الأرض بإحداث زلزلة صناعية فى الصخور وقياس سرعة الموجات الزلزالية فيها لتحديد البنية الصخرية المناسبة لتراكم الخام .

انعكاس سيزمى (زلزالى) : Seiamic reflection ظاهرة انعكاس الموجات السيزمية (الزلزالية) عند الأسطح الفاصلة بين طبقات الصخور المختلفة .

انكسار سيزمى (زلزالى) : Seismic Refraction ظاهرة انكسار الموجات السيزمية

(*) معجم الجيولوجيا ، إصدار مجمع اللغة العربية ، الطبعة الثانية ، جمهورية مصر العربية ، القاهرة ١٤٠٢هـ ـ ١٩٨٢م .

(الزلزالية) عند الأسطح الفاصلة بين طبقات الصخور المختلفة .

تأثير كهربى زلزالى : Seismic Electric Effect

التغير الدورى الحادث فى التيار الكهربى بين قطبين مغروزين فى الأرض نتيجة لمرور موجة زلزالية بينهما .

تكْتنة : Tectonism

(أ) ظاهرة عدم ثبات القشرة الأرضية .

(ب) السلوك التركيبى لجزء من القشرة الأرضية فيما بين دورات رسوبية أو فى خلال واحدة منها .

تكتونية : Tectonics علم تشكّل الصخور :

(أ) فرع من علوم الأرض يبحث فى المعالم التركيبية الكبرى للأرض وأسبابها .

(ب) جميع المعالم البنيوية التى تطرأ على الصخر مثل الطىّ

والتصدع والتفلق ، وتنشأ هذه المعالم من القوى الداخلية المسببة للحركات الأرضية البسيطة والبانية للجبال .

خرائط التنطق الزلزالى (السيزمى) : Seismic Zoning Maps

خرائط ترسم وتسجل عليها تفاصيل الظروف الزلزالية لمنطقة ما ، أى ظروف كل ما وقع فيها من زلازل ، كذلك الظروف الجيولوجية التى حدثت بسببها الزلازل والتراكيب البنائية المتصلة بها . والغرض من هذه الخرائط الحصول على الشدة القصوى المحتملة للزلازل فى منطقة ما .

زلزال : Earthquake

هزة أرضية تنشأ فى صخور القشرة الأرضية بسبب تصدعها أو نتيجة رد فعل لحركات الصهارة فيها .

سيزموجراف : Seismograph

مرجفة ، مِسجِّل الزلازل . جهاز يسجل الموجات الزلزالية .

سيزمومتر : Seismometer

مقياس الزلازل . جهاز كاشف يستقبل ويسجل قوة النبضات الزلزالية ، ويستخدم عادة للكشف عن الزلزال الطبيعى .

صدع : Fault

كسر فى الأرض تتحرك على مستواه من الجانبين كتل الصخور وينشأ من تصدع (أى تكسر أو تشقق) الصخور بقوة الشد أو الضغط .

مَيْد أرضى : Earth Tilting

حركات أو انزياح طفيف يحدث فى سطح الأرض تسببه بعض الزلازل .

وادى الخسف : Rift Valley

بنية جيولوجية تتخذ شكل الأخدود الطويل وتنشأ عن نشاط قوى الشد فى القشرة الأرضية فى

منطقة بها مجموعتان متوازيتان من الصدوع العادية تذهبان فى اتجاهين متقابلين . وأشهر أمثلة أودية الخسف هو ذلك المنخفض الممتد مسافة ٤٥٠٠ كيلو متر من سورية إلى شرق أفريقية ، ويتكون من البحر الميت وخليج العقبة والبحر الأحمر ومتسلسلة من البحيرات فى شرق أفريقية .

الفهرس

الموضــوع		الصفحــة
★ مقدمة		..... ٣
★ الفصل الأول	:	الزلزال فى القرآن والسنة ٦
★ الفصل الثانى	:	علم الزلازل فى التراث الإسلامى . ١٢
★ الفصل الثالث	:	علم الزلازل فى العصر الحديث ... ٢٠
		● التركيب الداخلى للأرض ٢٠
		● نظرية الصفائح التكتونية ٢٥
		● التفسير العلمى لظاهرة الزلازل ... ٢٩
		● الأحزمة الزلزالية ٣٤
		● موقع مصر من أحزمة الزلازل ٣٥
		● موجات الطاقة الزلزالية ٣٩
		● أجهزة رصد الزلازل ٤٨
		● القياسات الزلزالية ٥٤
		١ ــ تحديد مصدر الزلزال ٥٤
		٢ ــ تقدير شدة الزلزال وقوته ٥٦
		٣ ــ توقع حدوث الزلزال ٦١

الموضوع	الصفحة
★ **الفصل الرابع** : أخطار الزلازل وفوائدها	٦٨
★ **خاتمة**	٧٦
★ **خرائط ورسوم توضيحية إضافية** ..	٧٩
★ **قائمة الخرائط والرسوم التوضيحية**	٨٦
★ **معجم المصطلحات**	٨٩
★ **الفهرس**	٩٤

مطابع الأوفست
بشركة الإعلانات الشرقية